*ивши[illegible]-Гарик*

# ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

М. ЛИВШИЦ-ГАРИК

# ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Перевод с английского
под редакцией *П. С. Сергеева*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

ЭЭ-5 (4) (3)-3

MICHAEL LIWSCHITZ-GARIK
assisted by
CELSO GENTILINI

# WINDING ALTERNATING-CURRENT MACHINES

Книга содержит систематическое изложение вопросов составления схем и выполнения обмоток машин переменного тока. Она предназначается для обмотчиков и проектировщиков электрических машин. Обмотчик найдет в книге схемы обмоток для многих случаев практики, что в значительной степени облегчит его работу и позволит избежать ошибок при выполнении соединений.

Большое количество схем петлевых и волновых обмоток с целым и дробным числом пазов на полюс и фазу (свыше 350 схем) вместе с удобными для использования многочисленными таблицами позволяют рассматривать данную книгу и как справочник по обмоткам машин переменного тока. Она будет полезна при ремонте машин.

В книге изложены также общие методы составления схем обмоток для любого соотношения чисел полюсов и пазов. Изложение отличается простотой и наглядностью.

Приводятся наглядные рабочие схемы волновых обмоток для роторов асинхронных двигателей с контактными кольцами и простые методы их составления. Для обмотчиков такие схемы будут особенно полезными.

Значительный интерес представляют разработанные автором методы составления схем несимметричных обмоток, к которым приходится обращаться при перемотке машин на другое число полюсов и при проектировании серий машин средней и большой мощности.

Книга содержит также схемы обмоток многоскоростных двигателей, многочисленные схемы обмоток однофазных двигателей. Отдельно рассматриваются вопросы пересоединения обмоток для других условий работы двигателя и перемотки его, а также вопросы отыскания повреждений обмоток и способы их устранения.

---

## *ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ*

Данная книга одного из известных специалистов в области электрических машин М. Лившица-Гарика содержит систематическое и последовательное изложение вопросов составления схем и выполнения обмоток машин переменного тока. Она, несомненно, будет полезной для всех тех, кто сталкивается с этими вопросами. Особенно она будет полезной для обмотчиков электромашиностроительных заводов и цехов тех заводов, где производится ремонт электрических машин. Обмотчик найдет в книге практические схемы обмоток почти для всех случаев практики, что в значительной степени облегчит его работу и позволит избежать ошибок при выполнении соединений.

Приведенные в книге многочисленные схемы соединений петлевых обмоток, получившие в США название «стандартных» схем, заслуживают широкого распространения на наших заводах. Они наглядно показывают, как должны быть соединены между собой катушечные группы обмоток при их последовательном соединении или соединении в 2, 3 и т. д. параллельные ветви. Для впервые выполняющих такие обмотки можно рекомендовать нанести мелом номера следующих одна за другой групп после их укладки и выполнить соединения согласно соответствующей схеме, приведенной в книге, где также указаны номера групп.

Надо также отметить наглядные рабочие схемы для волновых роторных обмоток и простые методы их составления. Для обмотчиков такие схемы будут особенно полезными.

При проектировании серий электрических машин, предназначенных для небольшого выпуска, и индивидуальных машин целесообразно, имея в виду сокращение количества штампов и другой заводской оснастки, обратиться в ряде случаев к несимметричным обмоткам, рассмотренным в данной книге. Изложенные в ней некоторые теоретические во-

просы и методы составления схем таких обмоток представляют значительный интерес.

Справедливости ради следует отметить, что впервые подробное исследование симметричных и несимметричных петлевых и волновых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу было выполнено в Советском Союзе В. Т. Касьяновым. Результаты исследования изложены им в докладе, представленном заводу «Электросила» в начале 1946 г. Выдержки из этого доклада были опубликованы в статьях В. Т. Касьянова [Л. 6 и 7].

Книгу можно рекомендовать также студентам техникумов и институтов, специализирующимся в области электромашиностроения; они найдут в ней полезное дополнение к изучаемой ими теории обмоток машин переменного тока и сведения о практическом выполнении этих обмоток.

В библиографии, помещенной в конце книги, исключены некоторые американские стандарты и книги, не представляющие большого интереса. Она дополнена основными книгами и статьями советских авторов, где читатели найдут добавочные сведения по теории и расчету обмоток, а также их выполнению.

*П. СЕРГЕЕВ*

## ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Настоящая книга написана для обмотчиков. Она будет также полезна для инженеров-проектировщиков. В ней изложены в наглядной форме основные понятия о петлевых и волновых обмотках. Книга содержит, кроме того, дальнейшее развитие методов исследования петлевых и волновых обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу и тех же обмоток — симметричных и несимметричных — с дробным числом пазов на полюс и фазу.

В начале каждой главы сообщаются сведения, позволяющие обмотчику легко найти ответы на отдельные вопросы, относящиеся к выполнению обмоток. При этом также сообщаются сведения об их изоляции и приводится ряд таблиц, по которым можно без схем обмоток выполнить все допустимые последовательные и параллельные соединения для чисел полюсов 2—30. В конце каждой главы даются общие правила для составления схем обмоток, в том числе и не включенных в таблицы. В приложениях, помещенных в конце книги, изложены пояснения и доказательства к используемым методам.

Петлевые обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу, а также симметричные и несимметричные петлевые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу рассматриваются в отдельных главах, так как составление их схем основано на совершенно различных методах. Подробное исследование симметричных и несимметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу производится впервые на основе вновь разработанных методов.

Впервые подробно рассматриваются и волновые обмотки. Они также разделяются на три группы: обмотки с целым числом и целым числом плюс половина пазов на полюс и фазу, симметричные обмотки с дробным числом пазов

на полюс и фазу и несимметричные обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу. Вновь разработанные методы составления схем обмоток указывают, как сделать волновую обмотку с дробным числом пазов на полюс и фазу симметричной во всех случаях, когда получается симметричной петлевая обмотка с тем же числом пазов на полюс и фазу, и как составить схему несимметричной обмотки для наименьшей несимметрии. Для облегчения работы обмотчика приводится большое число рабочих схем для всех трех типов волновых обмоток.

В книгу включены также вопросы многоскоростных обмоток, однофазных обмоток, пересоединений обмоток для новых условий работы и вопросы определения мест повреждения обмоток.

*М. ЛИВШИЦ-ГАРИК*

# СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

# КЛАССИФИКАЦИЯ ОБМОТОК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И НЕКОТОРЫЕ ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной книге рассматриваются обмотки, по которым протекает переменный ток; они помещаются в пазах и не имеют соединений с коллектором.

**1-1. Катушечная группа, катушка, виток, эффективный проводник, элементарный проводник.** Каждая обмотка состоит из определенного числа катушек, объединенных в катушечные группы, а каждая катушечная группа может иметь одну или несколько единичных катушек. Катушка состоит из одного или нескольких витков, соединенных последовательно, и каждый виток состоит из двух эффективных проводников, соединенных последовательно концевым (лобовым) соединением. Эффективный проводник может быть сделан из одного, двух или большего числа элементарных проводников (параллельных нитей).

**1-2. Одно-, двух- и трехфазные обмотки.** Обмотки переменного тока могут быть однофазными, двухфазными или трехфазными соответственно числу фаз сети, к которой они подключаются. В двух- или трехфазных обмотках число пазов на полюс разделяется на 2 или 3 части, по одной на каждую фазу. Число пазов на полюс определяется полным числом пазов и числом полюсов. Последнее определяется частотой тока и скоростью вращения.

**1-3. Период и частота.** Период — время, необходимое для изменения переменной электродвижущей силы (э. д. с.) или переменного тока от положительного максимума до ближайшего следующего положительного максимума. В течение этого времени переменная э. д. с. или переменный ток проходит через полный цикл своего изменения, т. е. принимает все возможные как положительные, так и отрицательные значения. Линии электропередачи и сети в США

имеют ток частотой 60 или 25 периодов в секунду. Число периодов в секунду называется частотой. Частота измеряется в герцах (1 *гц*=1 *пер/сек*).

**1-4. Число полюсов, синхронная скорость.** Число полюсов определяется следующим соотношением:

$$\text{Число полюсов} = \frac{120 \times \text{частота}}{\text{скорость (об/мин)}}. \qquad (1\text{-}1)$$

На рис. 1-1 показан 4-полюсный ротор явнополюсной синхронной машины. В асинхронных двигателях и синхронных машинах с цилиндрическим ротором (турбогенераторы)

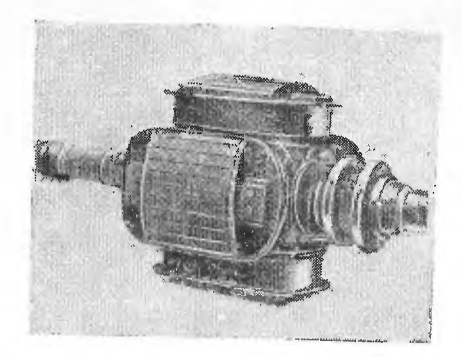


Рис. 1-1. Собранный ротор 4-полюсной синхронной машины с выступающими полюсами.

полюсы механически выражены неявно, но в отношении создания магнитного поля они действуют так же, как в явнополюсных машинах. Два соседних полюса всегда имеют различные полярности.

Из (1-1) следует:

$$\text{Скорость (об/мин)} = \frac{120 \times \text{частота}}{\text{число полюсов}}. \qquad (1\text{-}2)$$

Скорость, полученная из этого уравнения, называется синхронной скоростью. Синхронный генератор или двигатель вращается со скоростью, точно равной синхронной скорости. Действительная скорость ротора асинхронного двигателя несколько меньше синхронной.

Числа полюсов и соответствующие им синхронные скорости для частот 60, 50 и 25 *гц* даны в табл. 1-1.



Таблица 1-1

**Синхронные скорости (*об/мин*) при различных числах полюсов и различных частотах**

| Число полюсов | Частота, *гц* | | |
|---|---|---|---|
| | 25 | 50 | 60 |
| | Синхронные скорости (*об/мин*) | | |
| 2 | 1 500 | 3 000 | 3 600 |
| 4 | 750 | 1 500 | 1 800 |
| 6 | 500 | 1 000 | 1 200 |
| 8 | 375 | 750 | 900 |
| 10 | 300 | 600 | 720 |
| 12 | 250 | 500 | 600 |
| 14 | 214 | 423 | 514 |
| 16 | 187 | 375 | 450 |
| 18 | 167 | 333 | 400 |
| 20 | 150 | 300 | 360 |
| 22 | 136 | 273 | 327 |
| 24 | 125 | 250 | 300 |
| 26 | 115 | 231 | 277 |
| 28 | 107 | 214 | 257 |
| 30 | 100 | 200 | 240 |
| 32 | 94 | 187 | 225 |

**1-5. Пазы на полюс и фазу.** Как указывалось, число пазов на полюс для двухфазной и трехфазной обмоток делится соответственно на 2 и 3 части. Число пазов на полюс и фазу, следовательно, равно числу пазов на полюс, деленному на число фаз, или полному числу пазов, деленному на число полюсов и число фаз. Число пазов на полюс и фазу представляет собой важную величину, характеризующую обмотку переменного тока. Для этой величины будет использоваться обозначение ППФ. Таким образом,

$$\text{ППФ} = \frac{\text{полное число пазов}}{\text{число полюсов} \times \text{число фаз}}. \qquad (1\text{-}3)$$

**1-6. Полюсно-фазная группа.** Катушки в пазах, принадлежащих одной фазе и расположенных под одним полюсом, т. е. катушки в ППФ пазах, образуют катушечную группу, которая называется полюсно-фазной группой. Полное число полюсно-фазных груп двухслойной обмотки (см. рис. 1-4) определяется числом полюсов и числом фаз, т. е.

$$\text{Число полюсно-фазных групп} = \text{число полюсов} \times \text{число фаз}. \qquad (1\text{-}4)$$

Число единичных катушек в полюсно-фазной группе равно ППФ.

**1-7. Полюсное деление.** Полюсное деление — расстояние между серединами двух соседних полюсов (рис. 1-1). Оно равно окружности якоря, поделенной на число полюсов, т. е.

$$\textit{Полюсное деление} = \frac{3,14 \times \textit{диаметр якоря}}{\textit{число полюсов}}. \quad (1\text{-}5)$$

В двухфазных обмотках ППФ равно числу пазов, приходящихся на $^1/_2$ или приблизительно $^1/_2$ полюсного деления, а следовательно, полюсно-фазная группа занимает $^1/_2$ или приблизительно $^1/_2$ полюсного деления. В трехфазных обмотках ППФ равно числу пазов, приходящихся на $^1/_3$ или приблизительно $^1/_3$ полюсного деления, а следовательно, полюсно-фазная группа занимает $^1/_3$ или приблизительно $^1/_3$ полюсного деления. Трехфазные обмотки, которые отступают от этого правила, рассматриваются в гл. 9.

**1-8. Шаг катушки. Обмотка с полным шагом. Обмотка с неполным шагом.** Шаг катушки — расстояние между двумя ее сторонами, измеренное в долях полюсного деления по окружности якоря. На рис. 1-2 показаны катушки

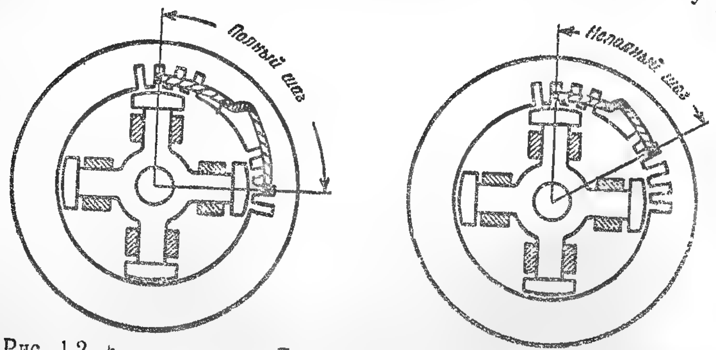



Рис. 1-2. К определению полного и неполного шагов обмотки.

4-полюсной машины. Когда шаг катушки равен полюсному делению, обмотка называется *обмоткой с полным шагом*. Когда шаг обмотки меньше или больше полюсного деления, обмотка называется *обмоткой с неполным шагом*. Шаг катушки обычно меньше полюсного деления.

**1-9. Начала фаз.** Начала фаз — это те концы катушечных групп, которые присоединяются к сети (или контактным кольцам фазного ротора асинхронного двигателя).



В двухфазных обмотках начала фаз должны быть сдвинуты одно от другого на $^1/_2$ или приблизительно $^1/_2$ полюсного деления. В трехфазных обмотках начала фаз должны быть сдвинуты одно от другого на $^2/_3$ или приблизительно $^2/_3$ полюсного деления. К этим расстояниям может быть также прибавлено четное число полюсных делений. Например, в двухфазной обмотке оба начала могут быть взяты на расстоянии одно от другого, равном $(^1/_2+2)=2^1/_2$ полюсного деления; в трехфазной обмотке вторая фаза может начинаться в пазу, который находится на расстоянии, равном $(^2/_3+2)=2^2/_3$ полюсного деления от начала первой фазы, а начало третьей фазы может быть в пазу, который сдвинут на $(^2/_3+^2/_3+2)=3^1/_3$ полюсного деления от начала первой фазы. Начала фаз не могут быть выбраны произвольно. Правила для их выбора приведены в следующих главах.

**1-10. Классификация обмоток переменного тока.** Обмотки переменного тока могут быть классифицированы по различным признакам:

1. Однофазная или многофазная.
2. Однослойная или двухслойная (рис. 1-3 и 1-4).

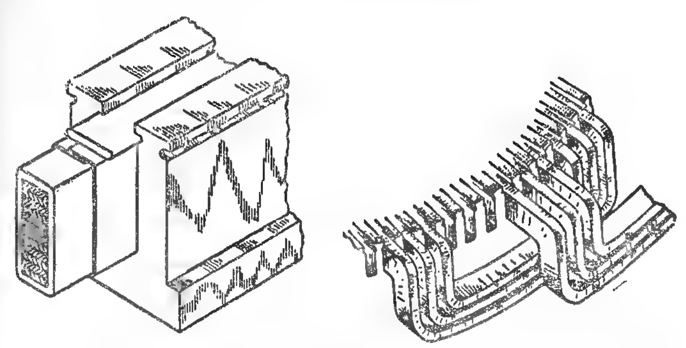


Рис. 1-3. Однослойная обмотка.

3. В полузакрытых или открытых пазах (рис. 1-5, 2-19, 2-22 и 2-27).
4. Концентрическая или распределенная (рис. 1-6 и 1-7).
5. По способу изготовления:

а) однофазная — ручная, шаблонная или мотковая (рис. 1-8 и 1-9);

б) многофазная — из овальных катушек, формованных плоских катушек или формованных катушек с гнутыми головками (рис. 1-10—1-12).

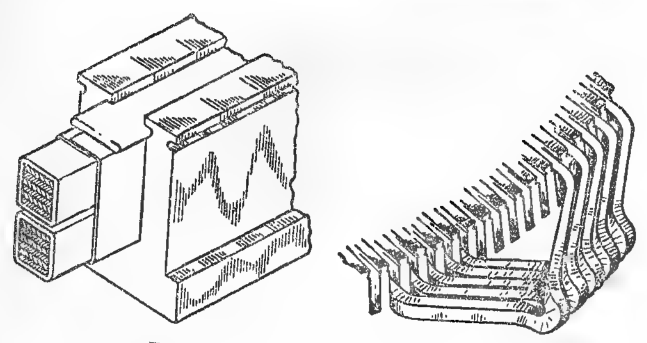


Рис. 1-4. Двухслойная обмотка.

Рис. 1-5. Полузакрытые и открытые пазы статора и ротора.

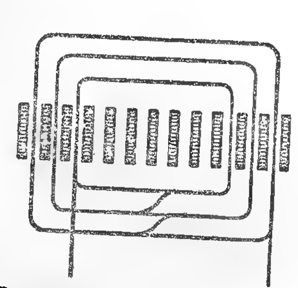


Рис. 1-6. Концентрическая обмотка.

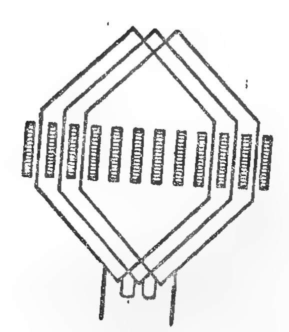


Рис. 1-7. Распределенная обмотка.

6. Из круглых или прямоугольных проводников.
7. Петлевая или волновая (рис. 1-13 и 1-14).
8. С сопряжением фаз в звезду или треугольник.
9. С полным шагом или неполным шагом (рис. 1-2).
10. С целым ППФ или дробным ППФ.

Однофазные двигатели выполняются, как правило, на малые мощности (обычно на доли киловатта). Статоры их обычно имеют концентрическую обмотку, заложенную



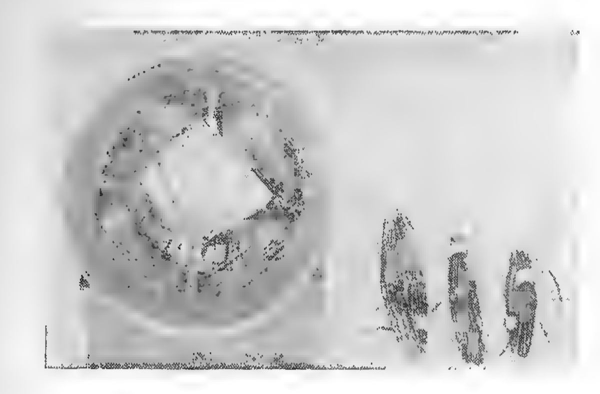


Рис. 1-8. Шаблонная обмотка.



Рис. 1-9. Мотковая обмотка.

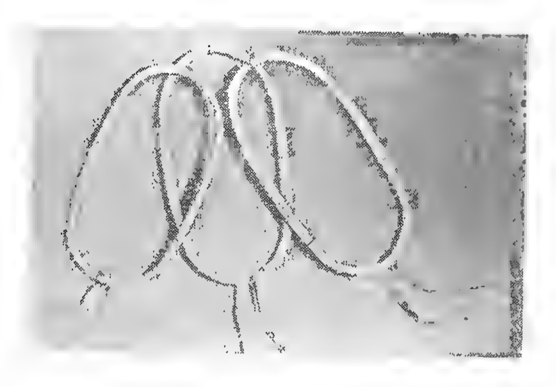


Рис. 1-10. Обмотка из овальных катушек.

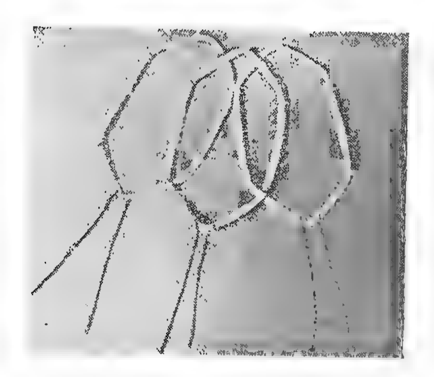


Рис. 1-11. Обмотка из формованных плоских катушек.

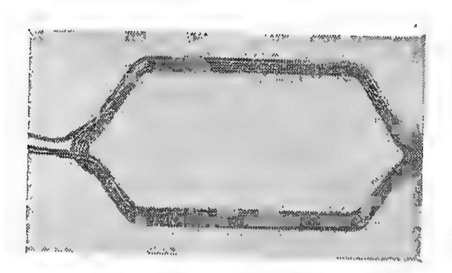


Рис. 1-12. Обмотка из формованных катушек с гнутыми головками (из растянутых катушек).

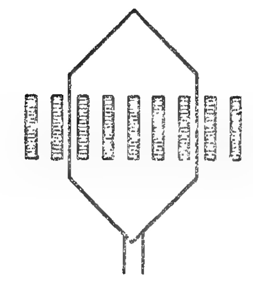


Рис. 1-13. Петлевая обмотка.

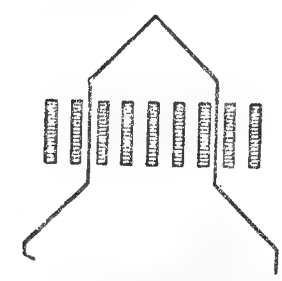


Рис. 1-14. Волновая обмотка.



в полузакрытые пазы. Стороны каждой катушки находятся в одном и том же слое, т. е. катушечные стороны лежат или у основания (в нижней части) паза, или в верхней части паза. Катушки могут быть намотаны из круглого проводника на шаблоне или в виде мотков и затем помещены в пазах, как показано на рис. 11-2, или могут быть намотаны непосредственно в пазах вручную, а также при помощи полуавтоматического станка. Ротор однофазного двигателя обычно имеет короткозамкнутую обмотку в виде беличьей клетки.

Многофазные двигатели обычно имеют двухслойную обмотку. Две катушечные стороны каждой катушки лежат в различных слоях, т. е. одна катушечная сторона лежит в нижней части паза, а другая — в верхней. Небольшие двигатели (при внутреннем диаметре статора примерно до 40 *см*) выполняются с полузакрытыми пазами с катушками из круглого провода, заложенными в пазы через их открытия. Катушки обычно имеют овальную форму или форму формованных плоских катушек[1]. Большие двигатели имеют открытые пазы, в которые закладываются полностью формованные катушки[2] из круглого или прямоугольного провода. Для многофазных статоров обычно применяются петлевые обмотки, но иногда также и волновые обмотки. Вообще же волновые обмотки находят применение главным образом для фазных роторов асинхронных двигателей.

В то время как концентрические обмотки однофазных двигателей состоят из катушек различной ширины, двухслойные обмотки многофазных двигателей состоят из катушек одинаковой ширины. В однофазных двигателях часть катушек имеет ширину, почти равную полюсному делению, и часть катушек имеет ширину, намного меньшую полюсного деления. В многофазных двигателях катушки имеют одинаковую ширину, но, как отмечалось ранее, ширина их может быть равной или меньше полюсного деления, т. е. они могут быть с полным или неполным шагом.

В большинстве случаев многофазные асинхронные двигатели имеют обмотки с целым ППФ. При этом все полюс-

[1] На заводах СССР такие катушки называют «мягкими» секциями, а обмотки из мягких секций, проводники которых закладываются в пазы через их открытия,— «всыпными» обмотками. (Ред.)

[2] Такие катушки называются «жесткими» секциями; они, как правило, выполняются из проводников прямоугольного сечения. (Ред.)

но-фазные группы обмотки имеют одно и то же число единичных катушек.

Изложенное выше относительно обмоток многофазных асинхронных двигателей применимо также и к статорным обмоткам синхронных двигателей и генераторов. Однако синхронные двигатели и генераторы с большим числом полюсов обычно имеют обмотки с дробным ППФ. В этом случае число единичных катушек не будет одинаковым во всех полюсно-фазных группах. В последующих главах будут подробно рассмотрены различные типы обмоток.

ГЛАВА ВТОРАЯ

# ТИПЫ И ИЗОЛЯЦИЯ МНОГОФАЗНЫХ ОБМОТОК

Многофазные обмотки обычно выполняются двухслойными, т. е. в каждом пазу имеются два слоя проводников, отделенных один от другого (рис. 1-4). Эти обмотки могут быть разделены на два обширных класса: петлевые обмотки (рис. 1-13) и волновые обмотки (рис. 1-14). В обоих случаях все катушки имеют одну и ту же ширину. При петлевой обмотке в каждом слое обычно помещается одна катушечная сторона; при волновой обмотке число катушечных сторон в каждом слое может быть больше единицы. Полное число катушек петлевой обмотки, следовательно, равно числу пазов, тогда как для волновой обмотки оно может быть больше числа пазов. Петлевая обмотка применяется для статоров многофазных асинхронных двигателей и синхронных машин. Она также применяется для роторов небольших асинхронных двигателей с контактными кольцами. Волновая обмотка находит применение главным образом для роторов больших асинхронных двигателей с контактными кольцами[1]. В последующем вначале будет рассмотрена петлевая обмотка, а затем волновая обмотка.

## А. ПЕТЛЕВЫЕ ОБМОТКИ

Три числа являются основными при рассмотрении многофазных обмоток: число полюсов, число фаз и число пазов. Число пазов определяет число единичных катушек. Число полюсов, умноженное на число фаз, определяет число полюсно-фазных групп [уравнение (1-4)]. Соответственно этому число пазов, разделенное на число

[1] На заводах СССР волновая обмотка с успехом применяется для статоров мощных тихоходных гидрогенераторов. (Ред.)

полюсно-фазных групп, определяет число пазов на полюсно-фазную группу (ППФ), т. е.

$$\text{Число пазов на полюсно-фазную группу} = ППФ = \frac{\text{число пазов}}{\text{число полюсов} \times \text{число фаз}}. \quad (2\text{-}1)$$

Пример. 4-полюсный трехфазный статор с 48 пазами имеет 48 единичных катушек, $4 \times 3 = 12$ полюсно-фазных групп и $\frac{48}{4 \times 3} =$ $= 4$ паза (единичные катушки) на полюсно-фазную группу $=$ ППФ.

В то время как число полюсно-фазных групп — всегда число целое, число пазов на полюсно-фазную группу может быть или целым, или дробным. В последнем случае число пазов (единичных катушек) не будет одним и тем же для всех полюсно-фазных групп.

**2-1. Типы петлевых обмоток.** Существует три общих типа петлевых обмоток:

обмотка с овальными катушками (рис. 1-10);

обмотка с формованными плоскими катушками (рис. 1-11);

обмотка с полностью формованными или растянутыми катушками (рис. 1-12).

Первые два применяются для небольших двигателей с полузакрытыми пазами при круглом проводе (всыпные обмотки из мягких секций). Третий тип применяется в средних и больших машинах с полуоткрытыми или открытыми пазами при круглом или прямоугольном проводе. Катушки из прямоугольного провода всегда выполняются в виде полностью формованных или растянутых катушек.

а) **Обмотки с овальными катушками.** Катушки этой обмотки наматываются на шаблоне. Если используется шаблон с несколькими канавками, показанный на рис. 2-1, то все катушки полюсно-фазной группы могут быть намотаны одна за другой одним проводником, который может состоять из одного или нескольких элементарных проводников. Периметр шаблона лучше всего определить при помощи пробного тонкого проводника, сделанного в виде петли и охватывающего статорные зубцы в том положении, какое будет занимать готовая катушка. Чтобы намотать овальные катушки, можно также использовать вместо шаблона другие приспособления, например доску со вбитыми в нее проволочными гвоздями. Проводники вкладываются в пазы через их открытия по одному или два за один раз.



Для того чтобы избежать повреждения изоляции проводников, острые края зубцов можно на время вкладывания проводников в пазы закрыть полосками картона.

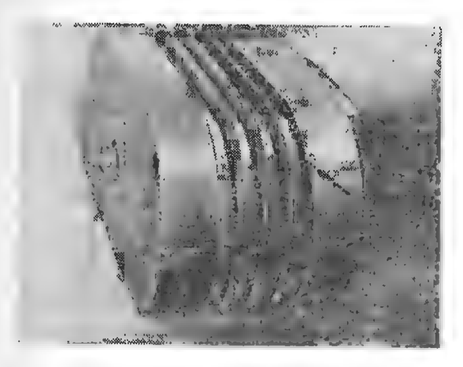


Рис. 2-1. Шаблон с канавками для овальных катушек.

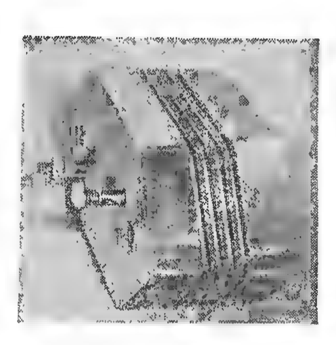


Рис. 2-2а. Шаблон с канавками для плоских формованных катушек.



Рис. 2-2б. Станок с 6 ходами для намотки плоских формованных катушек.

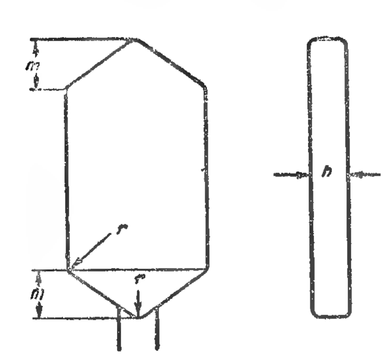



Рис. 2-2в. Плоская формованная катушка.

б) **Обмотка с формованными плоскими катушками.** Так же как и обмотка с овальными катушками, эта обмотка может быть намотана на шаблоне с канавками (или ходами; рис. 2-2а) при использовании одного проводника

для каждой полюсно-фазной группы. Проводник может состоять из одного или нескольких элементарных проводников и может быть заложен в паз через его открытие при использовании проходных картонных листов, предохраняющих изоляцию проводников от повреждений острыми краями зубцов. Плоские формованные катушки изготовляются также при помощи специального станка, показанного на рис. 2-2б.

Важно правильно определить размер *m* плоской формованной катушки, показанной на рис. 2-2в. Если размер *m* слишком мал, то укладка лобовых частей обмотки получается слишком тесной; если же размер *m* взят чрезмерно большим, то уменьшается расстояние между обмоткой и конструктивными деталями. Радиус *r* в точках изгиба обычно выбирается равным около 6 *мм*. Толщина катушки *h* определяется размерами шаблона, на котором катушка наматывается; она составляет приблизительно 40% глубины паза.

**в) Обмотка с полностью формованными или растянутыми катушками.** Катушки этого типа обмотки сначала наматываются в виде вытянутой петли (лодочки), а затем формуются путем растягивания на специальных станках. Вытянутая петля наматывается вокруг двух роликов

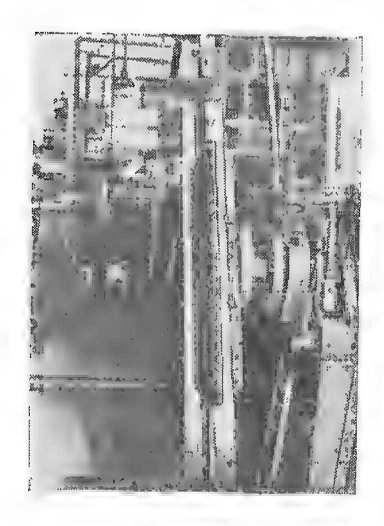


Рис. 2-3а. Намоточный станок для обмотки с растянутыми катушками.

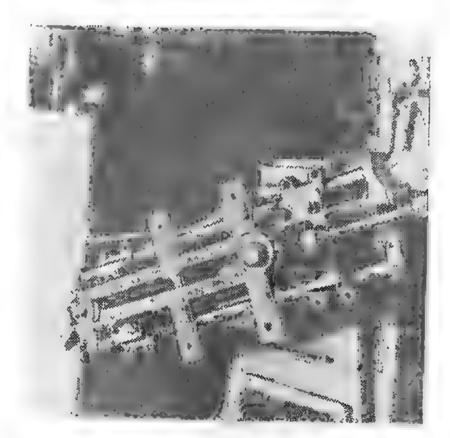


Рис. 2-3б. Станок для намотки и растяжки катушек.



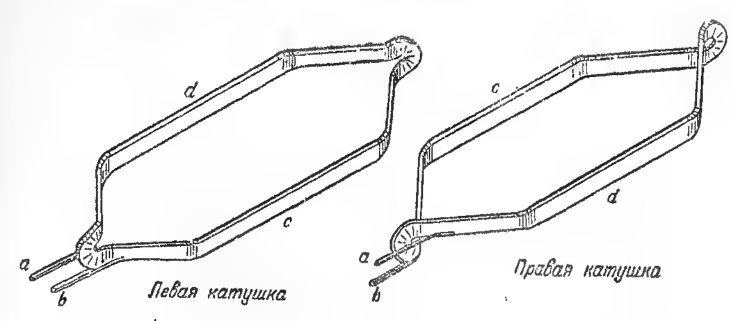



Рис. 2-3в. Полностью формованная или растянутая катушка.

(рис. 2-3а) или на специальном раздвижном станке (рис. 2-3б). На рис. 2-3в показаны катушки, где обозначено: *a* — начальный вывод; *b* — конечный вывод; *c* — нижняя катушечная сторона (для нижней части паза); *d* — верхняя катушечная сторона (для верхней части паза).

**2-2. Укладка катушек.** На рис. 2-4 представлена 4-полюсная трехфазная обмотка при 24 пазах и ширине катушек, равной 5 пазовым делениям (*1—6*). Обмотчик должен сначала уложить нижнюю сторону катушки *1* в нижнюю часть паза *1*, но при этом оставить верхнюю сторону этой катушки вне паза *20*, положив ее на сердечник; он не может уложить ее в верхнюю часть паза *20*, так как здесь еще не уложена нижняя катушечная сторона. То же самое надо сделать с катушками *2, 3, 4* и *5*, оставляя верхние катушечные стороны для пазов *1—5* свободно положенными на сердечник. Теперь можно нижнюю сторону катушки *6* поместить в нижнюю часть паза *6*, а ее верхнюю сторону — в верхнюю часть паза *1*, где уже находится нижняя катушечная сторона. Таким же образом производят укладку катушек *7, 8, 9* и т. д. в соответствующие пазы, заполняя сначала нижние части пазов *7, 8, 9*, ..., а затем верхние части пазов *2, 3, 4*, ..., пока обмотка не дойдет до паза *24*. Когда нижняя катушечная сторона будет уложена в пазу *24*, ее верхнюю сторону укладывают в верхнюю часть паза *19*. После этого верхние стороны катушек *1, 2, 3, 4* и *5*, которые были оставлены свободно положенными на сердечник, укладывают в верхние части пазов *20, 21, 22, 23* и *24*.

Первые пять катушек (*1—5*) называются начальными. Число начальных катушек равно ширине катушки, выраженной в пазовых делениях. На рис. 2-4 ширина катушки

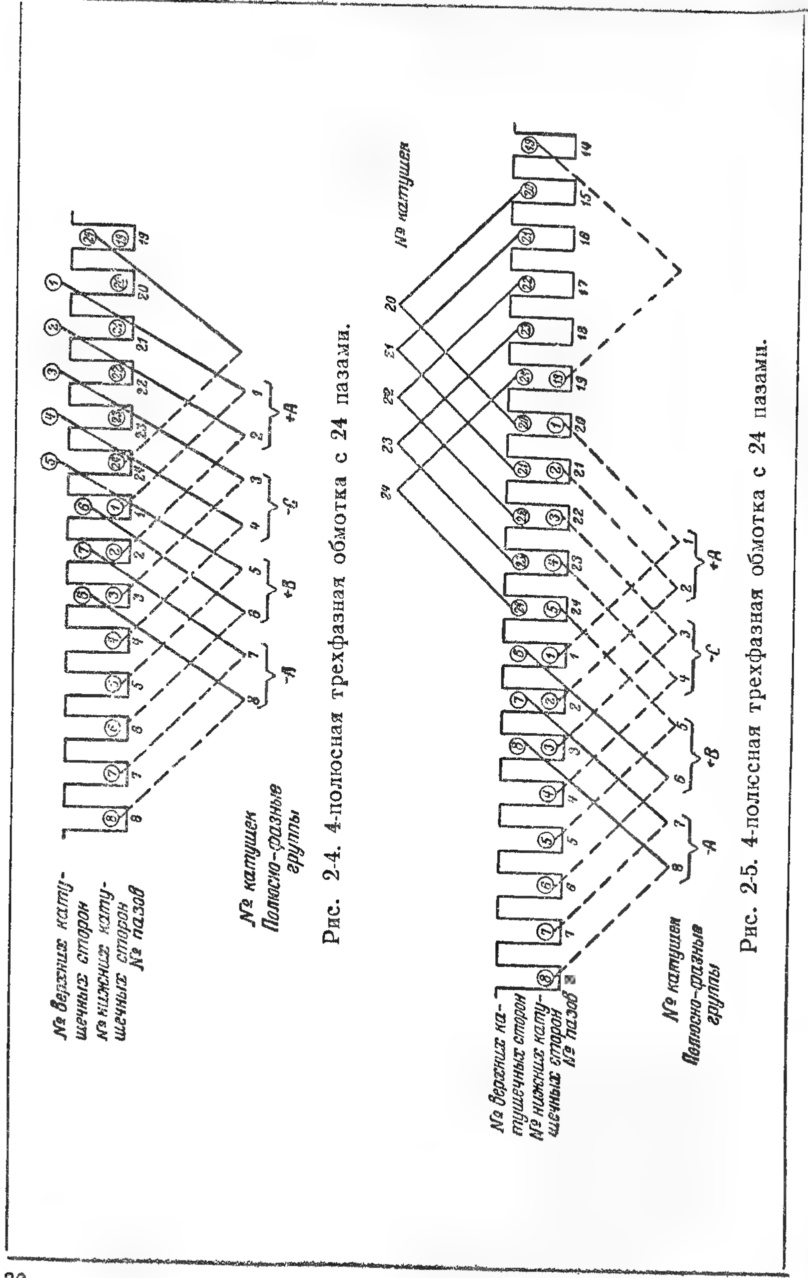



Рис. 2-4. 4-полюсная трехфазная обмотка с 24 пазами.

Рис. 2-5. 4-полюсная трехфазная обмотка с 24 пазами.



равна 5 пазовым делениям (*1—6*) и, следовательно, число начальных катушек равно 5. Указанный способ укладки катушек применяется для обмоток с полностью формованными катушками, а также для обмоток с овальными или плоскими формованными катушками. На рис. 2-5 показан другой способ выполнения обмотки. В этом случае обе стороны начальных катушек укладываются в нижних частях пазов, т. е. катушка *1* укладывается в нижних частях пазов *1* и *20*, катушка *2* — в нижних частях пазов *2* и *21* и т. д. После этого, начиная с катушки *6*, катушечные стороны укладываются сначала в нижнюю, а затем в верхнюю части пазов, как и в предыдущем случае (рис. 2-4). После того как будут уложены последние нижние стороны катушек *15, 16, 17, 18* и *19* в нижних частях пазов *15, 16, 17, 18* и *19*, останутся незаполненными верхние части пазов *15—24*, в которые надо уложить последние 5 катушек: *20, 21, 22, 23* и *24*.

Последний способ изготовления применяется для обмоток с овальными и плоскими формованными катушками, но не для обмоток с полностью формованными катушками (жесткими секциями). Он особенно пригоден для двухполюсных двигателей, имеющих относительно большую ширину катушек по сравнению с диаметром якоря, так как в этом случае облегчается изготовление обмоток.

**2-3. Однорядные и многорядные растянутые катушки.** Однорядная катушка получается, если при изготовлении вытянутой петли (лодочки) проводники наматываются в один ряд. В этом случае по ширине паза будет помещаться только один проводник и витки катушки будут располагаться один над другим. При многорядной катушке по ширине паза помещается несколько проводников, как, например, показано на рис. 2-6. Здесь конец одного ряда проводников переходит к началу следующего ряда проводников путем перекрещивания. На рис. 2-6 каждый ряд имеет 4 проводника. Виток *1* в первом ряду — начальный вывод, виток *16* четвертого ряда — конечный вывод. Перекрещивания получаются при переходе от витка *4* к *5*, от витка *8* к *9* и от витка *12* к *13*. Имея в виду больше механическую прочность, чем электрическую, следует несколько усилить изоляцию между проводниками в местах их перекрещивания. Кроме того, надо считаться с тем, что в многорядных катушках напряжение между лежащими один над другим витками будет выше, чем в однорядных катушках. В однорядной катушке максимальное напряжение между

соседними проводниками равно максимальному напряжению одного витка, т. е. фазному напряжению, умноженному на $\sqrt{2}$ (т. е. 1,414) и поделенному на число последовательно соединенных витков фазы:

$$\text{Максимальное напряжение на виток} = \frac{1{,}414 \times \text{фазное напряжение}}{\text{число последовательно соединенных витков фазы}}. \quad (2\text{-}2)$$

Следует помнить, что для трехфазной обмотки, соединенной в звезду, фазное напряжение равно линейному напряжению, разделенному на $\sqrt{3}$ (т. е. 1,731); для трехфазной обмотки, соединенной треугольником, фазное напряжение равно линейному напряжению.

$$\text{Число последовательно соединенных витков фазы} = \frac{\text{число катушек} \times \text{число витков катушки}}{\text{число фаз} \times \text{число параллельных ветвей}}. \quad (2\text{-}3)$$

(для последовательного соединения число параллельных ветвей равно 1). Обратимся теперь к рис. 2-6. Напряжение между витками *1* и *2*, или *2* и *3*, или *4* и *5* равно напряже-

Конечный вывод
16 15 14 13 Четвертый слой
9 10 11 12 Третий слой
8 7 6 5 Второй слой
1 2 3 4 Первый слой
Начальный вывод

Рис. 2-6. Катушки с поперечной укладкой витков.

нию одного витка, точно так же как и в однорядной катушке; напряжение между витками *3* и *6* равно 6 — 3=3, умноженным на напряжение одного витка, а напряжение между первым витком первого ряда (витком *1*) и конечным витком второго ряда (витком *8*) равно 8 — 1=7, умноженным на напряжение одного витка. Имея в виду эти повышенные напряжения между соседними витками, иногда



приходится усиливать изоляцию самих проводников или делать изоляционные прокладки между их рядами.

Многорядная катушка может быть секционирована, т. е. отдельные проводники могут быть намотаны в виде однорядных катушек — секций, секции отдельно изолированы и соединены последовательно. На рис. 2-6а показана 2-секционная многорядная катушка с 10 витками, размещенными в 2 витка по ширине и 5 по высоте. Обе секции помещаются рядом; каждая из них изолируется отдельно. Секции соединяются между собой путем соединения

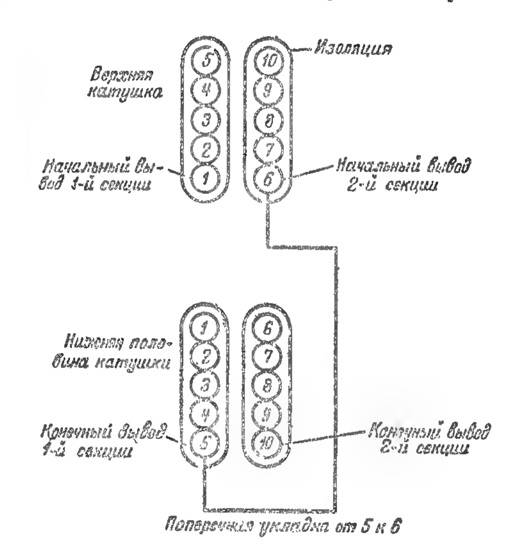



Рис. 2-6а. Двухсекционная катушка.

конечного вывода первой секции с начальным выводом второй секции. Соединение делается в точке изгиба катушки при помощи металлической гильзы с применением припоя; конечный вывод помещается рядом с головкой катушки. Напряжение между секциями в любой точке равно напряжению на виток, умноженному на число витков в секции, так как между любой парой проводников, например проводниками *3* и *8*, всегда будет полное число витков секции. Секционированные многорядные катушки используются, когда катушка имеет большое число витков и когда ширина паза по сравнению с его высотой достаточно велика.

**2-4. Подразделение прямоугольных проводников полностью формованных катушек.** Проводники указанных катушек (жестких секций) при больших токах нормально подразделяются на элементарные проводники. Такое подразделение делается, с одной стороны, для облегчения изготовления катушки при ее формовке и, с другой—для уменьшения добавочных потерь в обмотке, повышающих ее нагревание. Добавочные потери вызываются паразитными (вихревыми) токами, наведенными полем проводников. Эти паразитные токи возникают по следующим причинам: ток, протекающий по проводникам, создает

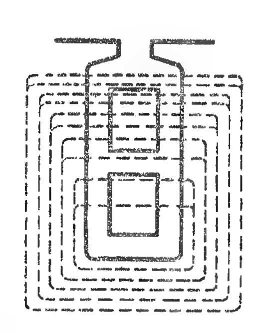


Рис. 2-7. Поперечное магнитное поле паза.

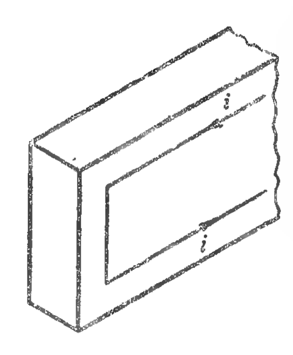



Рис. 2-8. Паразитные (вихревые токи в проводнике.

магнитное поле, силовые линии которого проходят поперек паза от одной его стенки к другой (рис. 2-7). Так как это поле создается переменным током, оно изменяется по величине и наводит э. д. с. и токи в проводниках, как показано на рис. 2-8. Из этого рисунка можно видеть, что паразитные токи не изменятся, если подразделение проводника сделано параллельно стенкам паза (рис. 2-9). Подразделение проводника будет эффективным только в том случае, если оно сделано перпендикулярно стенкам паза, как показано на рис. 2-10.

Если подразделение проводников делается для уменьшения добавочных потерь, то каждый элементарный проводник должен быть изолирован. Можно изолировать только часть элементарных проводников, как это показано на рис. 2-11. На этом рисунке представлен паз с 6 эффективными проводниками, каждый из которых состоит из 8 элементарных проводников. Голые элементарные проводники имеют такую же высоту, как и изолированные элементар-



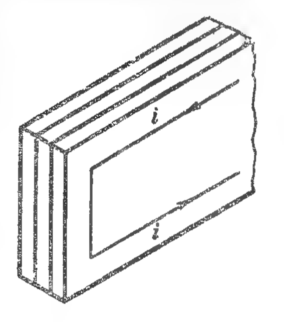



Рис. 2-9. Подразделение, параллельное стенкам паза (такое подразделение неэффективно).

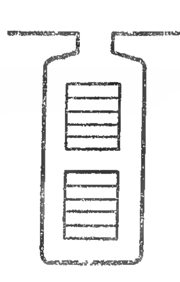


Рис. 2-10. Подразделение, перпендикулярное стенкам паза (такое подразделение эффективно).

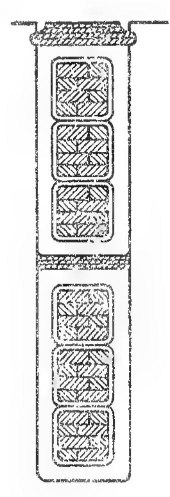


Рис. 2-11. Специальная укладка эффективных и элементарных проводников в пазу.

ные проводники. Добавочные потери в меди в большой степени зависят от высоты элементарного проводника и частоты тока сети, поэтому эту высоту следует выбирать небольшой, насколько это позволяет практическое выполнение катушек (обычно при частоте 50 *гц* сечение элементарного проводника выбирается не больше 15 *мм*²).

На рис. 2-12 и 2-13 показаны различные способы подразделения эффективного проводника на 2 элементарных. На рис. 2-12 элементарные проводники размещены по ширине паза, на рис. 2-13—по высоте его. Катушечная сторона имеет

Рис. 2-12. Различные способы разделения проводника на 2 элементарных по ширине.

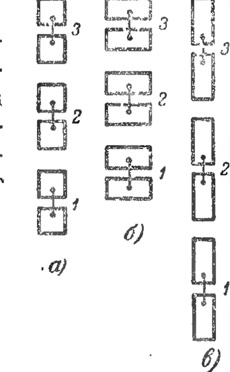



Рис. 2-13. Различные способы разделения проводника на 2 элементарных по высоте.

3 эффективных проводника. В отношении механических свойств катушки предпочтение должно быть отдано для размещений, показанных на рис. 2-13,*а* и *б*. В отношении уменьшения добавочных потерь от паразитных токов более благоприятными являются размещения, показанные на рис. 2-12,*б* и 2-13,*б*.

**2-5. Начальный и конечный выводы.** В растянутых катушках начальный вывод, т. е. вывод, первым закрепляемый на шаблоне, когда начинают наматывать катушку, отходит от центра петли, тогда как конечный вывод отходит от верхней части петли. Оба вывода должны быть вынесены к концу петли.

**а) Левые и правые катушки. Размещение выводов.** В зависимости от положения в пазу часть катушки, которая лежит вблизи воздушного зазора, называется в е р х н е й к а т у ш е ч н о й с т о р о н о й, тогда как другая

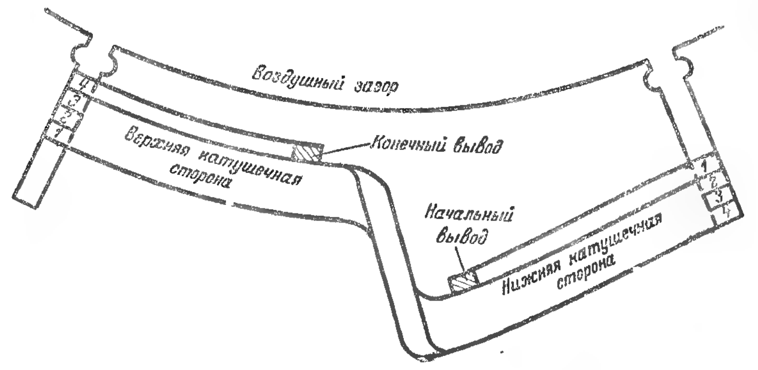



Рис. 2-14а. Левая катушка с выводами сверху.

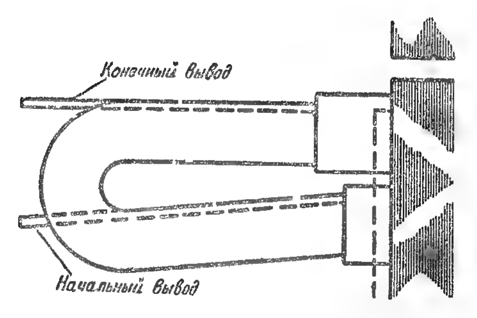



Рис. 2-14б. Выводы сверху.



часть катушки, которая лежит у основания паза, называется н и ж н е й к а т у ш е ч н о й с т о р о н о й. Если обмотчик обращен лицом к стороне выводов статора и верхние катушечные стороны находятся от него слева, то катушки называются л е в ы м и к а т у ш к а м и, в против-

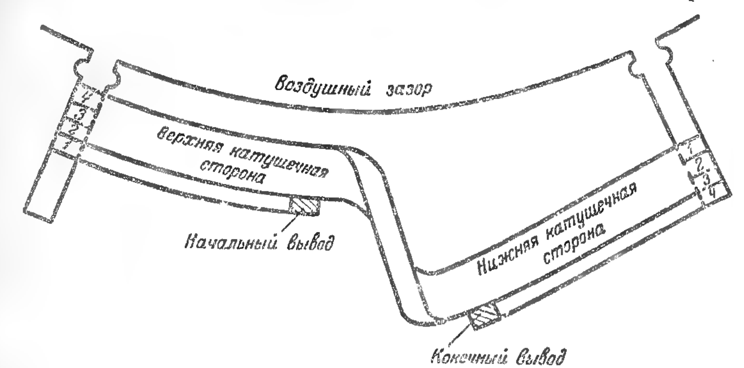



Рис. 2-15а. Левая катушка с выводами снизу.

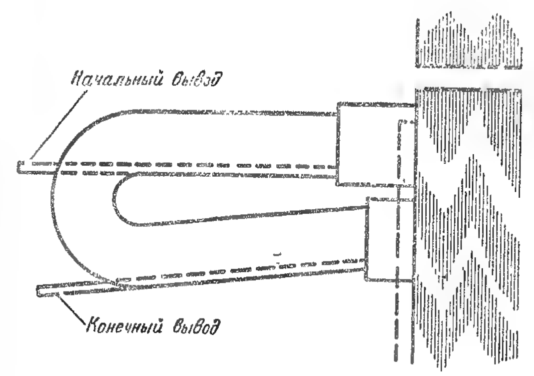



Рис. 2-15б. Выводы снизу.

ном случае они называются п р а в ы м и к а т у ш к а м и. В настоящей книге будут рассматриваться только левые катушки (см. рис. 2-3в и 6-1).

Возможны два размещения выводов: выводы могут находиться под лобовыми частями катушки (рис. 2-14а и 2-14б) или под ними (рис. 2-15а и 2-15б). Если при растяжке выводы находились снизу, то их размещение будет соответствовать рис. 2-14а, если же при растяжке они находились вверху, то их размещение будет соответствовать рис. 2-15а. На рис. 2-14а и 2-15б показаны основные раз-

мещения выводов: выводы сверху и выводы снизу. На рис. 2-14б и 2-15б показаны прямые выводы. Они могут быть также отогнуты от воздушного зазора (рис. 2-16). Начальный вывод может быть свободным или прикрепленным к головке катушки.

Прямые выводы используются в обмотках относительно низкого напряжения (до 600 *в*) или в том случае, когда

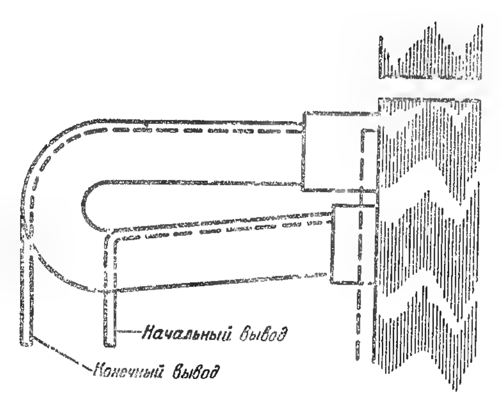



Рис. 2-16. Выводы, отогнутые от воздушного зазора.

имеется достаточно места между концами катушек и конструктивными частями. При выводах снизу (рис. 2-15а) они будут дальше от воздушного зазора. Для высоких напряжений размещение выводов по рис. 2-16, когда они находятся сверху и отогнуты от воздушного зазора, следует предпочесть, так как при этом возможно более надежное прикрепление их к головкам катушек.

**2-6. Изоляция проводников, пазов и лобовых соединений.** Различные изоляционные материалы, применяемые для электрических машин, согласно американским стандартам разделяются на 3 класса. Недавно к ним добавлен еще четвертый класс. Эти 4 класса указываются в табл. 2-1. В этой же таблице приведены также предельные температуры, при превышении которых срок службы изоляции будет заметно сокращаться.

В последующем будут рассмотрены изоляция эффективных и элементарных проводников, корпусная (пазовая) изоляция, изоляция лобовых частей обмотки и скрепляющая изоляция.

а) **Изоляция проводников.** Круглые и небольшие прямоугольные или квадратные провода снабжаются изоляционным покрытием еще до изготовления катушек; прямоугольные или квадратные провода большого сечения изолируются после того, как сформована катушка, или в процессе ее формовки. Материалы, применяемые для изоляции проводов, указаны в табл. 2-2. Таблицы для голых и изолированных круглых, квадратных и прямоугольных проводов приведены в конце книги.

Толщина изоляции проводников зависит от напряжения между витками (см. § 2-3). В обычных случаях это напряжение для проводов марок ПЭЛБО, ПЭВ-2, ПБД, ПЭТСО, ПСД, ПДА не должно превышать 15—20 *в*. При более высоких напряжениях для усиления витковой изоляции следует проложить между витками полоски из картона или миканита или обернуть эффективный проводник хлопчатобумажной или стеклянной лентой, или телефонной бумагой, или синтолентой, или микалентой.

б) **Изоляция элементарных проводников.** В качестве элементарных проводников обычно выбираются при напряжениях до 640 *в* провода марок ПЭЛБО, ПЭВ-2, ПЭВ-П, ПБД и при более высоких напряжениях провода марок ПБД, ПСД, ПДА.

в) **Корпусная изоляция.** Эта изоляция применяется для пазовых частей катушек. Она служит для предотвращения пробоя изоляции на корпус (сталь сердечника), поэтому должна иметь достаточную диэлектрическую прочность. Корпусную изоляцию будем рассматривать отдельно для полузакрытых и открытых пазов.

г) **Корпусная изоляция для полузакрытых и полуоткрытых пазов.** Корпусная (пазовая) изоляция для полузакрытых пазов показана на рис. 2-17,*а*. Применяемые при этом материалы и толщины изоляции указаны в табл. 2-3. Изоляция паза статора — обычно трехслойная, состоящая из двух слоев электокартона и одного слоя лакоткани между ними или же двухслойная из пленкоэлектрокартона. Односторонняя толщина пазовой изоляции в современных машинах составляет при внешних диаметрах статора 145, 182, 245 и 327—493 *мм* соответственно 0,35; 0,4; 0,5 и 0,6—0,65 *мм*. Изоляция класса В при полузакрытых пазах применяется редко, только в специальных случаях, например для закрытых машин. Здесь также толщина пазовой изоляции колеблется примерно от 0,3 до 0,6 *мм*.

При полуоткрытых пазах до 640 *в* пазовая изоляция показана на рис. 2-17,*б*. Применяемые при этом материалы

указаны в табл. 2-4. Она относится к изоляции класса А. Для машин с изоляцией класса В конструкция пазовой изоляции отличается от принятой для класса А наличием гибкого миканита толщиной 0,20 *мм* вместо лакоткани.

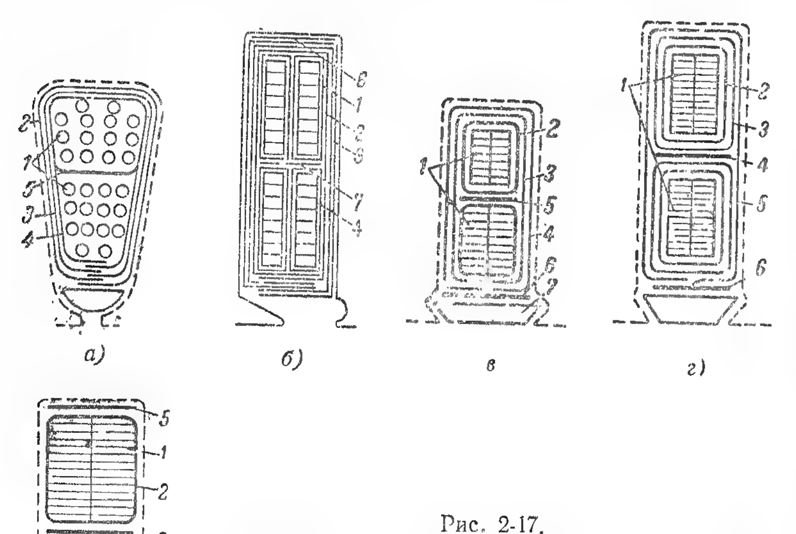



Рис. 2-17.

*а* — корпусная (пазовая) изоляция статорной обмотки при полузакрытых пазах до 640 *в* (обозначения см. в табл. 2-3); *б* — изоляция статорных обмоток при полуоткрытых пазах до 640 *в* (обозначения см. табл. 2-4); *в* — корпусная (пазовая) изоляция класса А статорной обмотки при открытых пазах до 640 *в* (обозначения см. табл. 2-5); *г* — корпусная (пазовая) изоляция статорной обмотки с мягкой гильзой до 640 *в* (обозначения см. табл. 2-6); *д* — корпусная (пазовая) непрерывная изоляция статорных обмоток при напряжении 3 000—11 000 *в* (обозначения см. табл. 2-7).

**д) Корпусная изоляция для открытых пазов.** При напряжениях до 640 *в* статорные обмотки выполняются с изоляцией класса А или В; при этом применяются следующие разновидности конструкции корпусной изоляции: а) пазовая коробочка; б) мягкая гильза; в) твердая (микафолиевая) гильза; г) непрерывная изоляция (микалентой). На рис. 2-17,*в* показана конструкция пазовой изоляции класса А при применении пазовой коробочки, состоящей из электрокартона, к которому с одной стороны приклеена лакоткань. Применяемые при этом материалы и их толщины указаны в табл. 2-5. На рис. 2-17,*г* показана изоляция пазовой части статорной обмотки при открытых пазах



(до 640 *в*) с мягкой гильзой. Применяемые при этом материалы и их толщины указаны в табл. 2-6.

Для статорных обмоток на напряжения 3 000—11 000 *в* также используются изоляционные материалы классов А и В; при этом применяются две основные конструкции: а) непрерывная изоляция микалентой; б) гильзовая микафолиевая изоляция. На рис. 2-17,*д* показана конструкция непрерывной изоляции статорных обмоток на напряжения 3 000—11 000 *в*. Применяемые при этом материалы указаны в табл. 2-7.

В табл. 2-8 даны размеры и характеристики разных типов междувитковой изоляции статорных обмоток на напряжения 3 000—11 000 *в*. Размеры и характеристики непрерывной изоляции в пазовой части при напряжениях 3 000—6 000 *в* приведены в табл. 2-9. При напряжениях выше 6 000 *в* число слоев ленты увеличивают; например, для 11 000 *в* берут 13 и 12 слоев. В этом случае пазовая часть обмотки вплоть до закругления обматывается асбестовой железистой лентой толщиной 0,4 *мм*. Эта полупроводящая лента сообщает внешней поверхности изоляции обмотки потенциал стали статора, препятствуя, таким образом, возникновению короны.

**е) Изоляция лобовых частей.** Обычно для изоляции лобовых частей используется какая-либо лента: миткалевая, тафтяная, киперная, лакотканевая, асбестовая, микалента и др.

**ж) Пропитка и лакировка катушек.** После того как катушки заложены в пазы, производится пропитка всей обмотки статора, причем в зависимости от изоляции и напряжения машины пропитка повторяется 2—4 раза. После каждой пропитки обмотка высушивается при относительно высокой температуре. Следует позаботиться о том, чтобы пропитывающий состав хорошо проник в поры изоляционных материалов как на лобовых частях, так и в пазовых частях обмотки. Пропитка производится погружением в пропитывающий состав всего статора с обмоткой. После пропитки и высушивания обмотки ее лобовые части покрываются одним или несколькими слоями специального покровного лака.

Катушки при открытых пазах пропитываются изолирующими составами отдельно, до закладки их в пазы. При напряжении примерно до 4 000 *в* пропитка производится несколько раз. После каждой пропитки катушки высушиваются при повышенной температуре, опрессовываются в специ-

альных приспособлениях, позволяющих придать их лобовым частям надлежащие форму и размеры. При более высоких напряжениях катушки компаундируются, т. е. пропитываются компаундной массой, составной частью которой является асфальт. Компаундировка производится в специальных котлах, где сначала катушки высушиваются при вакууме и затем в тех же котлах пропитываются компаундной массой под давлением при повышенной температуре.

**з) Изоляция выводов.** Выводы обмотки изолируются при помощи трубок из изоляционного материала и лент. При классе изоляции A материалом для лент обычно служит хлопчатобумажная ткань, пропитанная лаком. При классе B применяется стеклянная лента, при классе H — та же лента, но пропитанная лаками на кремнийорганической основе. Изоляция выводов должна начинаться внутри катушки, примерно на расстоянии 50—60 *мм* от ее головки. Если наматывается полная катушечная группа, то следует изолировать переходы от одной катушки к другой. Например, в 2-катушечной группе необходимо сделать изоляционные покрытия лентой в 3 местах. Если для изоляции применяются трубки, то они должны быть укреплены при помощи ленты. Начало и конец полюсно-фазной группы обычно используются для междугрупповых соединений. Вследствие этого их длину нельзя выбирать произвольно. Примерно длина их должна быть равна $\frac{3{,}14D'}{4p}+50$ *мм*, где $D'$ — диаметр окружности, на которой лежат выводы, а $p$ — число пар полюсов.

Выводы катушек при открытых пазах или прикрепляются к катушкам, или оставляются свободными. При высоких напряжениях необходимо хорошо изолировать начальный вывод, так как его приходится изгибать у головки катушки. Если выводы прикрепляются к катушкам, то между выводами и катушками надо проложить изоляционные прослойки толщиной 0,2—0,4 *мм*, выбирая при этом материал для прослоек в зависимости от напряжения и класса изоляции обмотки. Во всех случаях выводы должны быть надежно скреплены с катушками шнуром или лентой и изолированы тем же материалом, что и лобовые части обмотки.

Если выводы оставляются свободными, то на них надеваются изоляционные трубки или они обматываются хлопчатобумажной лентой вполнахлеста (толщина ленты около 0,18 *мм*) для напряжений до 640 *в*.

Для напряжений 640—3 500 *в* применяются 3 слоя лакотканевой ленты вполнахлеста (толщиной около 0,25 *мм*) плюс один слой вполнахлеста хлопчатобумажной ленты (около 0,18 *мм*). Для напряжений 3 500—6 600 *в* применяются 4—6 слоев той же лакотканевой ленты и 1 слой хлопчатобумажной ленты вполнахлеста. Для изоляции класса B применяются микалента толщиной 0,17 *мм* вместо лакотканевой и стеклянная лента вместо хлопчатобумажной. Для класса H применяются стекломикалента на основе кремнийорганического лака толщиной около 0,13 *мм* и стеклянная лента, пропитанная кремнийорганическими составами.

Катушки при откытых пазах делаются с выводами, одинаковыми по длине (примерно 75 *мм* от головки катушки), при использовании кабеля для междугрупповых соединений или с выводами, достаточно длинными для того, чтобы их можно было использовать для междугрупповых соединений. В последнем случае половина катушек, принадлежащих фазе, имеет начальные выводы примерно на 75 *мм* более длинные, чем конечные выводы, тогда как другая половина катушек той же фазы имеет конечные выводы примерно на 75 *мм* более длинные, чем начальные выводы. При таком выполнении выводов несколько уменьшается расход меди. Длина междугруппового соединения должна быть равна $\frac{3{,}14D'}{4p}+75$ *мм*, где $D'$ — диаметр окружности, на которой лежат выводы. При использовании кабеля для междугруппового соединения его длина должна быть равна $\frac{3{,}14D'}{2p}+75$ *мм*.

**и) Изоляция междугрупповых соединений и бандажных колец.** В больших машинах лобовые части обмоток должны быть надежно укреплены, чтобы предотвратить их деформацию, которая может быть вызвана большими токами в обмотках (токи короткого замыкания в генераторах, пусковые токи в двигателях). Для этой цели вокруг лобовых частей помещают бандажные кольца (одно или два) и к ним прикрепляют при помощи шнура каждую катушку. Кольца должны быть изолированы. Для них применяется такая же изоляция, как и для междугрупповых соединений. Толщина изоляции зависит от напряжения. Для напряжений до 640 *в* она составляет около 1 *мм*, для напряжений 640—3 500 *в* 1,5—2,0 *мм*, для напряжений 3 500—6 600 *в* 2,0—2,5 *мм*, для более высоких напряжений 2,5—4,0 *мм*. При классе изоляции A применяются хлопчатобумажная лента, намотанная вполнахлеста, затем лакотканевая лента

с числом слоев, зависящим от напряжения, и, наконец, снова один слой хлопчатобумажной ленты, намотанной вполнахлеста. При классе изоляции В применяются микалента вместо лакотканевой и стеклянная лента вместо хлопчатобумажной. При классе Н применяются стекломикалента и стеклянная лента на кремнийорганических лаках вместо указанных выше микаленты и нормальной стеклянной ленты. До применения изоляции металлические кольца должны быть очищены и покрыты хорошо запекающимся лаком. Первый слой изоляции накладывается в то время, когда лак еще сохраняет влажность. Покрытие лаком должно производиться перед наложением каждого слоя. Число покрытий окончательно готовой изоляции должно быть таким же, как и для лобовых частей.

**к) Промежутки в лобовых частях обмоток.** Большое значение для обмоток электрических машин имеет правильный выбор промежутков в лобовых частях обмоток, обеспечивающих их электрическую прочность и достаточное охлаждение. Величины промежутков при полузакрытых и открытых пазах приведены в табл. 2-10. Обозначения

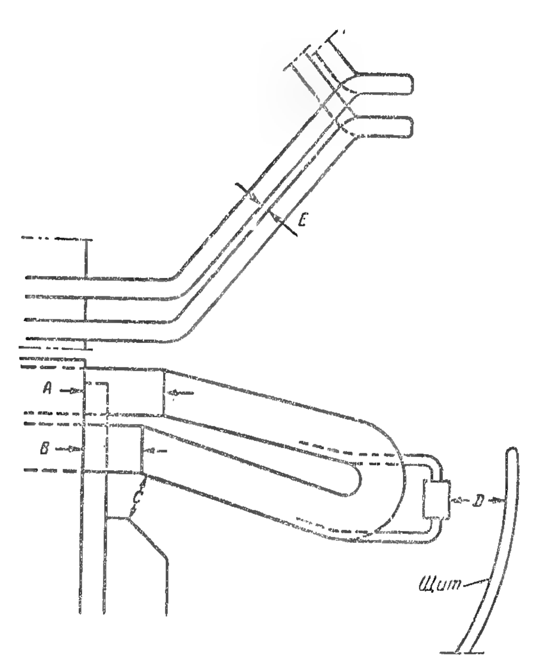



Рис. 2-18. Промежутки для лобовых частей обмоток.



в таблице соответствуют указанным на рис. 2-18. В машинах, исключая малые двигатели на низкие напряжения, верхняя коробочка (или пазовая изоляция) делается более длинной, чем нижняя коробочка (или пазовая изоляция). В последнем столбце таблицы указываются расстояния между лобовыми частями соседних катушек для различных напряжений. Эти расстояния необходимы для того, чтобы через соответствующие промежутки мог свободно проходить охлаждающий воздух. Чем выше напряжение, тем толще изоляция и тем большее количество воздуха должно проходить через промежутки в лобовых частях, чтобы отвести образующееся в проводниках тепло.

## Б. ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ

Волновые обмотки применяются для роторов асинхронных двигателей с контактными кольцами. Но иногда они применяются также для статоров. Здесь мы будем рассматривать волновые обмотки, имея в виду применение их только для роторов.

**2-7. Изоляция пазов и лобовых соединений.** Рассмотренные ранее петлевые обмотки, а также рассматриваемые здесь волновые обмотки являются двухслойными. Из проводников прямоугольного сечения делается один виток на катушку, разомкнутый на передней стороне (рис. 2-20). В одном слое паза могут быть один или несколько проводников. На рис. 2-19 показано размещение 1—4 проводников в одном слое паза.

Так как каждая пара проводников представляет собой катушку, то число катушек волновой обмотки равно числу проводников в одном слое паза, умноженному на число пазов. В петлевой обмотке число катушек равно числу пазов.

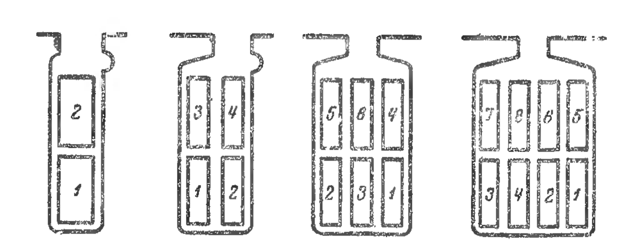



Рис. 2-19. Различные способы размещения проводников волновой обмотки в пазах ротора.

Пазы делаются полузакрытыми. Так как катушки закладываются в пазы через их открытия, то последние должны быть сделаны с одной стороны паза, если в одном слое его помещаются 2 проводника. Первыми закладываются в пазы проводники нижнего слоя. Проводники нижних и верхних слоев надо укладывать в пазы в последовательности, указанной на рис. 2-19 и 2-20 числами 1—2, 1—2—3—4 и т. д. В то время как верхние проводники закладываются в паз, соответствующие им нижние проводники уже лежат в другом пазу, смещенном относительно первого на полюсное деление или приблизительно полюсное деление [1].

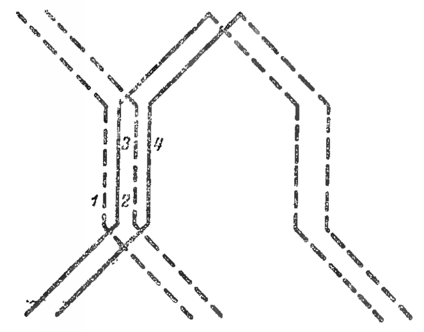



Рис. 2-20. Волновая обмотка с одним витком на катушку.

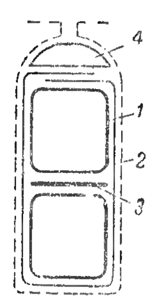



Рис. 2-20а. Корпусная (пазовая) изоляция роторных волновых обмоток (обозначения см. табл. 2-11).

Катушки, уложенные рядом в каждом слое, соединяются последовательно. Их концы соединяются при помощи надеваемой на них сжатой трубки, похожей по форме на цифру 8 (такие трубки обычно называются хомутиками). Схемы волновых обмоток и их составление рассматриваются в гл. 6—8. Здесь будем рассматривать только изоляцию волновых обмоток.

**а) Корпусная (пазовая) изоляция и изоляция лобовых частей.** Корпусная изоляция волновой обмотки состоит из обертки в пазовой части; для изоляции лобовых частей применяются ленты. Применяемые материалы и их толщины в соответствии с рис. 2-20а указываются в табл. 2-11.

При изоляции класса В вместо микафолия иногда используется микалента. При классе Н применяются стекломикаленты на кремнийорганическом лаке как для пазовой, так и для лобовой частей обмотки.

Для напряжений ниже 1 200 *в* пропитка и сушка катушек делаются 1 раз. Для более высоких напряжений пропитка и сушка делаются 2 раза. Обмотанный ротор для всех напряжений должен пройти добавочные пропитку и сушку, а затем его лобовые части должны быть при помощи пульверизатора покрыты специальным лаком, требующим обычной воздушной сушки. Время сушки равно 4—6 *ч* при 110° С для катушек и 12—36 *ч* (в зависимости от диаметра) при 115—125° С для обмотанного ротора с обмотками, имеющими изоляцию класса А или В. При классе изоляции Н для сушки обмотанного ротора принимается температура 165—250° С.

Перед закладкой катушек в пазы в них помещаются коробочки из электрокартона толщиной 0,2—0,3 *мм* в зависимости от имеющегося места. Коробочки должны выступать за сталь ротора примерно на 20—25 *мм*. На дно паза надо положить полоску летероида между коробочкой и сталью, чтобы предотвратить повреждение коробочки при закладывании катушек и забивании клина в верхней части паза. Летероидная полоска должна быть длиннее сердечника ротора примерно на 10—13 *мм*. При классе изоляции В в пазы также помещаются коробочки из электрокартона до укладывания катушек. Но здесь на дно паза надо положить вместо летероидной полоски полоску из бакелизированной плотной ткани. При классе изоляции Н обычно не применяют коробочек, но если они необходимы, то их выполняют из миканита или стеклянных тканей на кремнийорганических лаках. На дно паза следует положить миканит или меламин.

**б) Прослойки между верхними и нижними слоями.** Для обмоток при изоляции класса А между верхними и нижними слоями в пазовой части укладывается полоска летероида, которая должна проходить от изгиба стержня на одной стороне ротора до изгиба стержня на другой стороне. Прослойка между верхними и нижними слоями в лобовых частях обмотки состоит из 2 или более полосок пропитанной плотной ткани толщиной каждая около 0,7 *мм* или

---

[1] На заводах СССР для фазных роторов асинхронных двигателей обычно применяются двухслойные стержневые обмотки при полузакрытых пазах с двумя стержнями на паз. Открытие паза редко превышает 2—2,5 *мм*. В этом случае стержни обмотки вставляются в пазы с торцовой стороны ротора. Надлежащую форму лобовой части они имеют только с одной стороны. На другой стороне такую же форму стержням придают после того, как они вставлены в пазы. (Ред.)

из 2 и более полосок пропитанной асбестовой ткани толщиной около 1 *мм*. Прослойки между лобовыми частями необходимы не только для укрепления их, но и для изоляции между верхними и нижними слоями, которые перекрещиваются. Для обмоток при классе изоляции В прослойки в пазовой части делаются из бакелизированной ткани, а между лобовыми частями верхних и нижних стержней — из стеклянной или асбестовой ткани. При классе изоляции Н прослойки в пазовой части делаются из меламина, а между верхним и нижним слоями в лобовых частях — из стеклянной или асбестовой ткани, пропитанной кремнийорганическими лаками.

**в) Изоляция хомутиков.** Для последовательного соединения катушек надо сделать соединения между верхними и нижними слоями. Если применяются массивные медные хомутики, то после того как они надеты на концы стержней, между верхним и нижним концами забивается луженый клин, уплотняющий соединение стержней с хомутиком. Если хомутики делаются из сравнительно тонкой меди, то их сжимают в средней части так, чтобы они по форме были похожи на цифру 8, и тем самым несколько отдаляли друг от друга концы стержней. Хомутики хорошо пропаиваются. Положение всех хомутиков должно быть точно фиксировано, что делается при помощи деревянных клиньев, используемых до пропайки хомутиков. Изоляция хомутиков состоит из двух или более колпачков, выполненных из муслина толщиной около 0,4 *мм*, и зависит от напряжения на контактных кольцах и имеющегося в распоряжении места. Изоляция хомутиков должна быть выполнена до бандажировки. Для обмоток при изоляции Н хомутики должны быть пропаяны твердым припоем или приварены. Изоляция хомутиков состоит из колпачков, выполненных из пропитанной кремнийорганическим лаком стеклянной ткани. Иногда для изоляции хомутиков применяются стекломикалента или стеклянная лента на кремнийорганических лаках.

**г) Изоляция обмоткодержателей.** Лобовые части обмотки укладываются на обмоткодержатели, которые должны быть изолированы. При классе изоляции А для этого применяется хлопчатобумажная лента, большое число слоев которой при промазывании лаком каждого слоя накладывается на внешнюю поверхность обмоткодержателя. При классе изоляции В применяются стеклянные и асбестовые ленты, при классе изоляции Н — те же ленты, но пропитанные кремнийорганическим лаком.



**д) Промежутки в лобовых частях обмоток.** Расстояния между отдельными стержнями в лобовых частях и расстояния их от механических деталей должны быть такими же, как и для петлевых обмоток (см. § 2-6).

**е) Пазовые клинья.** После того как заложены проводники в паз, в верхнюю часть помещают полоску летероида и клин. Клин обычно состоит из нескольких частей, которые один за другим вдвигаются в паз с обеих сторон ротора. Материалом для клиньев служит фибра или текстолит. При изоляции класса В применяются текстолитовые клинья, при изоляции класса Н — клинья из меламина. Размеры клина зависят от веса меди в пазу, т. е. от размеров паза. На рис. 2-21,*а* — *в* показаны обычные формы пазовых клиньев. В табл. 2-12 даются их размеры в зависимости от ширины паза. Клин должен быть длиннее, чем паз, на 12—20 *мм* в зависимости от толщины клина.

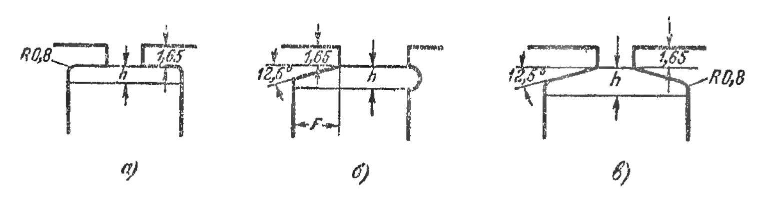



Рис. 2-21. Клинья для пазов.

**ж) Бандажи на лобовых частях.** Особое внимание должно быть уделено укреплению лобовых частей обмотки ротора, так как они подвержены действию центробежных сил. Обычно применяется бандажная стальная проволока с прочностью на разрыв до 180 *кГ/мм²* диаметром 0,6—0,8 *мм* для роторов с диаметром до 250 *мм*, 1,0 *мм* для роторов с диаметром 250—400 *мм*, 1,5 *мм* для роторов с диаметром 400—1 000 *мм* и 2,0 *мм* для роторов с диаметром, бо́льшим 1 000 *мм*. Намотка бандажей производится с сильным натяжением проволоки порядка 50—60 *кГ/мм²*.

Число проволок в бандаже определяется полной центробежной силой, действующей на бандаж. Для расчета последней может быть использована следующая формула:

$$F = 0{,}2\,GD\left(\frac{об/мин}{1\,000}\right)^2\ кГ, \qquad (2\text{-}4)$$

где $F$ — полная сила, действующая на бандаж; $G$ — полный вес, *кГ*, лобовых частей, включая изоляцию и бандаж;

$D$ — диаметр ротора, *мм* и *об/мин* — номинальное число оборотов в минуту. Общее напряжение, испытываемое бандажом, не должно превышать 30 *кГ/мм²*. Бандаж должен покрывать примерно 60% поверхности лобовых частей.

Для изоляции между бандажом и лобовыми частями обычно используются прокладки из миканита толщиной 0,25 *мм* и асбеста толщиной 0,8 *мм*. Изоляция под бандажом должна выступать с каждой стороны на 8—12 *мм*.

Под бандаж должны быть положены полоски луженой стали шириной 8—12 и толщиной 0,3—0,5 *мм*. Длина их должна быть достаточной, чтобы ими можно было обвернуть бандаж и чтобы конец полоски перекрывал начало ее примерно на 10—15 *мм*. Эти полоски располагаются на расстоянии одна от другой, равном приблизительно 4 пазовым делениям. В конце и начале бандажа обычно используются 3 полоски, примыкающие одна к другой.

## В. КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ ОБМОТКИ

**2-8. Различные типы короткозамкнутых обмоток.** Некоторые формы пазов роторов с короткозамкнутыми обмотками, выполняемыми в виде беличьих клеток, показаны на рис. 2-22. Роторные стержни не изолируются; они на каждой стороне соединяются с замыкающими их кольцами.

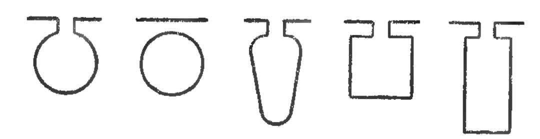


Рис 2-22. Форма пазов ротора с беличьей клеткой.

Для небольших роторов пазы делаются круглыми или грушевидными, или трапецеидальными. В этом случае клетка получается путем заливки пазов расплавленным алюминием, причем одновременно отливаются и замыкающие кольца вместе с вентиляционными крыльями (рис. 2-23). Для больших мощностей (примерно от 125 *квт* при 4 полюсах) применяются медные круглые (рис. 2-24) или прямоугольные (рис. 2-25 и 2-26) стержни; иногда их выполняют также из латуни. Замыкающие кольца делаются из меди и — в более редких случаях—латуни или какого-либо



другого металла с повышенным удельным сопротивлением.

Для двигателей с повышенным начальным пусковым моментом в роторе помещаются две клетки. Некоторые формы пазов для двухклеточного ротора показаны на рис. 2-27. В этом случае применяются 2 замыкающих кольца на каждой стороне ротора, по одному для каждой клетки (рис. 2-28), или только одно замыкающее кольцо на каждой стороне ротора, являющееся общим для обеих клеток.



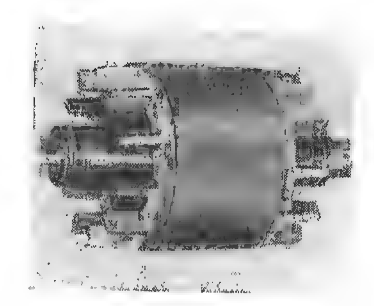


Рис. 2-23. Готовый ротор с беличьей клеткой, полученной путем заливки пазов расплавленным алюминием (одновременно также отлиты замыкающие кольца и вентиляционные крылья).

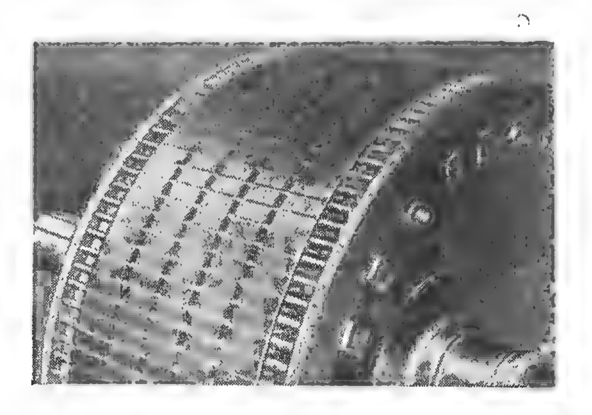


Рис. 2-24. Ротор с беличьей клеткой из круглых стержней.

Болты, пайка, болты и пайка, пайка твердым припоем и сварка используются при соединении стержней с замыкающими кольцами. В современной практике более часто применяются последние два способа.

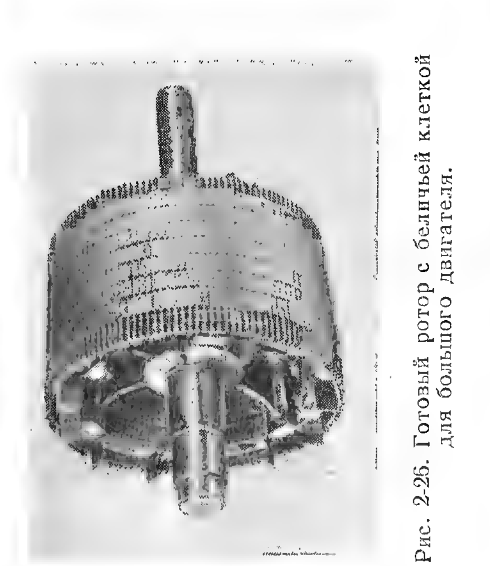


Рис. 2-26. Готовый ротор с беличьей клеткой для большого двигателя.

Рис. 2-25. Ротор с беличьей клеткой из стержней прямоугольного сечения.

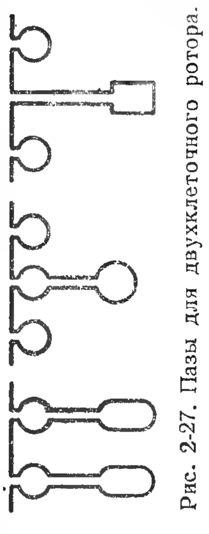


Рис. 2-27. Пазы для двухклеточного ротора.

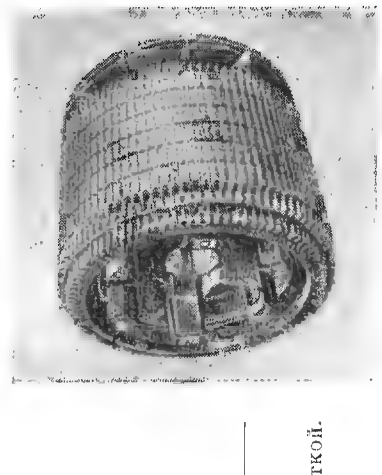


Рис. 2-28. Готовый ротор с двойной клеткой.



Таблица 2-1

**Классификация изоляционных материалов и предельные температуры**

| Класс изоляции | Материалы | Предельные температуры, °С: Термометр | Заложенный детектор | В наиболее нагретой точке |
|---|---|---|---|---|
| О—непропитанные органические материалы | Непропитанные изделия из хлопка, шелка, полотна. Непропитанные бумага, фибра, дерево и т. п. | 75 | 85 | 90 |
| А — пропитанные или погруженные в жидкий диэлектрик органические материалы | Хлопок, шелк, полотно и подобные им органические материалы, пропитанные маслом, лаком, специальными пастами или компаундированные | 95 | 100 | 105 |
| В — пропитанные или погруженные в жидкий диэлектрик неорганические материалы | Асбест, стеклянное волокно, слюда (микалента, миканиты, микафолий и т. п.), неорганические наполнители. (С целью крепления может быть применен изоляционный материал класса А с общим содержанием органических веществ не более 50% по весу.) | 110 | 120 | 130 |
| Н — пропитанные или погруженные в жидкий диэлектрик неорганические материалы | Слюда, асбест, стеклянное волокно и подобные им неорганические материалы с применением для их связывания и пропитки кремнийорганических лаков и смол или материалы с эквивалентными свойствами; кремнийорганические компаунды в форме смолы или резины. (Не должны содержать органических материалов.) | — | — | 180 |

Таблица 2-2

**Материалы для изоляции проводников**

| Класс О | Класс А | Класс В | Класс Н |
|---|---|---|---|
| Хлопчатобумажная пряжа (один слой) | Хлопчатобумажная пряжа (один слой) | Стеклянное волокно (один слой) | Те же материалы, что и для класса В, но с применением для их связывания и пропитки кремнийорганических лаков или смол |
| То же (два слоя) | То же (два слоя) | То же (два слоя) | |
| Хлопчатобумажная лента | То же (три слоя) | То же (три слоя) | |
| Хлопчатобумажные чехлы (трубки) | Хлопчатобумажная пряжа (один слой) и эмаль | Стеклянная лента | |
| | | Стеклянные чехлы | |
| Бумага | Хлопчатобумажные чехлы (трубки) | Стеклянные чехлы (трубки) | |
| | Бумага | Асбест | |
| | Бумага и эмаль | Асбестовая лента | |
| | Синтетическая пленка | Микалента | |
| | Синтетическая пленка и эмаль | | |

Таблица 2-3

**Изоляция статорных обмоток при полузакрытых пазах до 640 *в***

| Обозначение на рис. 2-17,*а* | Изоляция класса А | | Изоляция класса В | |
|---|---|---|---|---|
| | Наименование материала | Толщина, *мм* | Наименование материала | Толщина, *мм* |
| 1 | Провод марки ПЭЛШО, ПЭЛБО, ПБД или ПЭВ | См. приложение 6 | Провод марки ПДА, ПСД или ПЭТСО | См. приложение 6 |
| 2 | Электрокартон ЭВ | 0,1—0,3 | Электрокартон ЭВ | 0,1—0,2 |
| 3 | Лакошелк или лакоткань | 0,06—0,20 | Миканит гибкий или стеклолакоткань | 0,1—0,3 |
| 4 | Электрокартон ЭВ или летероид | 0,1—0,2 | Электрокартон или летероид | 0,1—0,2 |
| 5 | Электрокартон ЭВ | 0,3—0,5 | Микакартон | 0,3—0,5 |
| 6 | Клин из дерева (бук), промасленный льняным маслом, или листовой фибры | 1—3 | Клин из текстолита, гетинакса, асбобакелита или стеклотекстолита | 1—3 |



Таблица 2-4

**Изоляция статорных обмоток при полуоткрытых пазах 640 *в*. В пазу четыре стороны полусекций. Изоляция проводника ПБД**

Пазовая часть

| Обозначение на рис. 2-17,*б* | Наименование | По ширине: число слоев | По ширине: общая толщина[1] | По высоте: число слоев | По высоте: общая толщина |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Обутюжка сторон полусекций — бумага телефонная лакированная 0,07 в $1^1/_4$ слоя[2] | 6 | 0,42 | 4 | 0,28 |
| 2 | Изоляция паза — электрокартон пропитанный 0,15 в $1^1/_4$ слоя | 2 | 0,3 | 3 | 0,45 |
| 3 | Изоляция паза — лакоткань желтая 0,2 в $1^1/_4$ слоя | 2 | 0,1 | 3 | 0,6 |
| 4 | Изоляция паза — электрокартон пропитанный 0,2 $1^1/_4$ слоя | 2 | 0,4 | 3 | 0,6 |
| 5 | Разбухание изоляции от пропитки | — | 0,4 | — | 0,4 |
| | Всего | — | 1,92 | — | 2,33 |
| 6 | Прокладка на дне паза — электрокартон 0,2 | — | — | 1 | 0,2 |
| 7 | Прокладка между слоями — электрокартон 0,5 | — | — | 1 | 0,5 |
| | Зазор на укладку не менее | — | 0,8 | — | 1,0 |
| | Итого | — | 2,72 | — | 4,03 |

Лобовая часть

| Наименование | На две стороны: число слоев | На две стороны: общая толщина |
|---|---|---|
| Лента миткалевая 0,15 вполнахлеста | 4 | 0,6 |
| Разбухание от пропитки | — | 0,2 |
| Итого | — | 0,8 |

[1] Толщина изоляционных материалов дана в миллиметрах.
[2] Изоляция считается наложенной в $1^1/_4$ слоя, если она окружает изолируемое сечение с трех сторон в один слой, а с четвертой стороны, обычно более узкой, — в два слоя, как показано на рис. 2-17, *б*.

Таблица 2-5

**Изоляция статорных обмоток класса А с пазовой коробочкой при открытых пазах до 640 *в***

| Обозначение на рис. 2-17,*в* | Наименование материала | Толщина, *мм* |
|---|---|---|
| 1 | Провод марки ПБД . . . . . . . . . . . . . | См. приложение 6 |
| 2 | Лента батистовая или миткалевая (пропитанная), наложенная впритык или вполнахлеста . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,18—0,20 |
| 3 | Лакоткань . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,15—0,40 |
| 4 | Электрокартон ЭВ рольный . . . . . . . . | 0,2—0,5 |
| 5 | Электрокартон ЭВ . . . . . . . . . . . . | 0,4—1,0 |
| 6 | То же . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,2—0,5 |
| 7 | Клин деревянный, пропитанный в льняном масле, или гетинаксовый . . . . . . . . | — |

Таблица 2-6

**Изоляция пазовой части статорной обмотки с мягкой гильзой при открытых пазах до 640 *в***

| Обозначение на рис. 2-17,*г* | Изоляция класса А | | Изоляция класса В | |
|---|---|---|---|---|
| | Наименование материала | Толщина, *мм* | Наименование материала | Толщина, *мм* |
| 1 | Провод марки ПБД | См. приложение 6 | Провод марки ПДА или ПСД | См. приложение 6 |
| 2 | Лакоткань в $2^1/_2$ оборота | 0,15—0,20 | Миканит с подложкой (микабумага) в $2^1/_2$ оборота | 0,2 |
| 3 | Лента миткалевая пропитанная, наложенная впритык | 0,20 | Лента миткалевая пропитанная, наложенная впритык | 0,20 |
| 4 | Электрокартон ЭВ | 0,4—1,0 | Миканит прокладочный | 0,4—1,0 |
| 5 | Электрокартон ЭВ или летероид | 0,1—0,2 | Летероид рольный | 0,1—0,2 |
| 6 | Электрокартон ЭВ | 0,4—1,0 | Электрокартон или миканит | 0,4—1,0 |
| | Клин деревянный (бук) пропитанный | — | Клин деревянный (бук) пропитанный | — |



Таблица 2-7

**Непрерывная пазовая изоляция статорной обмотки на напряжение 3 000—11 000 *в***

| Обозначение на рис. 2-17,*д* | Наименование материала | Толщина, *мм* |
|---|---|---|
| 1 | Междувитковая изоляция | См. табл. 2-8 |
| 2 | Микалента 0,1—0,13 вполнахлеста, сверху тафтяная или асбестовая лента впритык | Число слоев микаленты см. в табл. 2-9 |
| 3 | Электрокартон ЭВ или миканит прокладочный | 0,5—1,5 |
| 4 и 5 | Электрокартон ЭВ | 0,5—1,0 |
| 6 | Клин деревянный (буковый, гетинаксовый или текстолитовый) | — |

Таблица 2-8

**Междувитковая изоляция статорных обмоток на напряжение 3 000—11 000 *в***

| Тип | Изоляция | Область применения | Размеры, *мм* |
|---|---|---|---|
| | Класс А | | |
| I | Провод ПБД. Компаундировка. В головках секций между проводниками прокладки из электрокартона толщиной 0,5 *мм* | Мощность до 1 000 *ква*, напряжение 3 000—3 300 *в* | $a=(x+0{,}5)n+0{,}2$; $b=(y+0{,}05)m+0{,}2$ |
| | Класс А | | |
| II | Провод ПБД и прокладки между проводами толщиной 0,2 *мм* (электрокартон или миканит). Компаундировка. В головках дополнительные прокладки (электрокартон или миканит) | Мощность выше 1 000 *ква* при напряжении 3 000—3 300 *в*, до 1 000 *ква* при напряжении 6 000—6 600 *в* | $a=(x+0{,}05)n+0{,}2$ $b=(y+0{,}05)m+$ $+0{,}2(m-1)+0{,}2$ |
| | Класс В | | |
| III | Провод ПБО, ПДА или ПСД. Каждый виток изолируется микалентой 0,1—0,13 *мм* вполнахлеста. Компаундировка | Мощность выше 1 000 *ква* при напряжении 6 000—11 000 *в* | $a=(x+0{,}05)n+$ $+0{,}2+(0{,}4\div0{,}52)$; $b=(y+0{,}05)m+$ $+(0{,}4\div0{,}52)k+0{,}2$ |

| Тип | Изоляция | Область применения | Размеры, *мм* |
|---|---|---|---|
| | Класс B | | |
| IV | То же, что и тип III, но витки изолированы двумя слоями микаленты | Для особо ответственных машин при напряжении 6 000—11 000 *в* | $a=(x+0{,}05)\,n+$ $+0{,}2+(0{,}8\div1{,}04)$; $b=(y+0{,}05)\,m+$ $+(0{,}8\div1{,}04)\,k+0{,}2$ |

$a$ — размеры по ширине секции; $b$ — размеры по высоте секции; $x$ — ширина меди; $y$ — высота меди; $n$ — число проводников по ширине секции; $m$ — число проводников по высоте секции; $k$ — число витков по высоте секции.

Таблица 2-9

**Непрерывная изоляция статорных обмоток в пазовой части на 3 000—6 600 *в***

| № п/п. | Применение, мощность и длина пазовой части | Рабочее напряжение, *в* | Число слоев микаленты и ее толщина, *мм* (в пазовой части катушки) | Полная толщина изоляции катушки (на сторону), *мм* |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Машины мощностью до 500 *ква* при длине пазовой части до 500 *мм* | 3 000—3 300 | 5×0,1 или 4×0,13 | 1,6 |
| 2 | Машины мощностью выше 500 *ква* при длине пазовой части более 500 *мм* . . . . . . . . | 3 000—3 300 | 5×0,3 | 1,9 |
| 3 | Двигатели мощностью до 500 *ква* при длине пазовой части до 500 *мм* | 6 000—6 600 | 6×0,3 | 2,1 |
| 4 | Двигатели и генераторы мощностью 500—1 000 *ква* . . . . . . . | 6 000—6 600 | 7×0,13 | 2,4 |
| 5 | Машины мощностью 1 000—3 000 *ква* . . . | 6 000—6 600 | 8×0,13 | 2,9 |
| 6 | Машины мощностью выше 3 000 *ква*, а также особо ответственные машины . . . . . . . . | 6 000—6 600 | 9×0,13 | 3,1 |



Таблица 2-10

**Промежутки для лобовых частей обмоток (все размеры в миллиметрах)**

| Напряжение (вольт) и типы пазов | Вылет верхней гильзы | Вылет нижней гильзы | Расстояние до нажимной шайбы | Расстояние от соединений до бокового щита | Расстояние между лобовыми частями катушек |
|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| Полузакрытые пазы[1] | 6 | 6 | 6 | 6 | — |
| Полузакрытые пазы[2] | 12—16 | 10 | 8 | 6 | 1,5—2,5 |
| Открытые пазы: | | | | | |
| до 640 . . . . . . . | 12—20 | 10—16 | 10 | 6 | 2,5 |
| 2 500—3 500 . . . . . | 23—35 | 25—28 | 20 | 16 | 4 |
| 4 500—6 600 . . . . . | 45—60 | 33—45 | 30 | 30 | 4 |
| 6 600—11 000 . . . . | 60—75 | 45—60 | 40 | 45 | 6—8 |
| 11 000—13 800 . . . . | 75—110 | 60—85 | 45 | 50 | 8—9 |

[1] Для двигателей до 7 *квт* и 240 *в*.
[2] Для двигателей свыше 7 *квт* и до 640 *в*.

Таблица 2-11

**Пазовая изоляция роторных стержневых обмоток**

| Применение | Обозначение на рис. 2-20а | Наименование материалов | Общая толщина изоляции (на сторону), *мм* |
|---|---|---|---|
| Электродвигатели реверсивные и нереверсивные с напряжением на кольцах до 300 *в* | *1* | Лакоткань 0,15—0,2 *мм*, 1 оборот, сверху миткалевая лента вполнахлеста или изоляция из бакелизированной бумаги | 0,55—0,65 |
| | *2* | Летероид или электрокартон | 0,1—0,15 |
| | *3* | Электрокартон ЭВ | 0,2—0,5 |
| Электродвигатели нереверсивные с напряжением на кольцах до 800 *в* и реверсивные до 500 *в* | *1* | Микафолий | 0,8 |
| | *2* | Летероид или электрокартон ЭВ | 0,2 |
| | *3* | Электрокартон ЭВ или миканит | 0,3—0,5 |
| Электродвигатели с напряжением на кольцах — для нереверсивных до 1 500 *в* и реверсивных до 1 000 *в* | *1* | Микафолий | 1,2 |
| | *2* | Летероид или электрокартон ЭВ | 0,2—0,3 |
| | *3* | Электрокартон ЭВ или миканит | 0,3—0,5 |

*Продолжение табл. 2-11*

| Применение | Обозначение на рис. 2-20а | Наименование материала | Общая толщина изоляции (на сторону), *мм* |
|---|---|---|---|
| Электродвигатели с напряжением на кольцах — для нереверсивных до 2 000 *в* и реверсивных до 1 500 *в* | *1*<br>*2*<br><br>*3* | Микафолий<br>Летероид или электрокартон ЭВ<br>Электрокартон ЭВ или миканит | 1,4<br>0,2—0,3<br><br>0,5—1,0 |

Таблица 2-12

**Размеры пазовых клиньев для фазных роторов (все размеры в миллиметрах)**

| № рисунка | Ширина паза | *h* | *F* | *r* |
|---|---|---|---|---|
| 2-21, *а* | До 12,5 | 1,6 | — | — |
| 2-21, *б* | До 11<br>>11 до 12,5<br>>12,5 до 19<br>Больше 19 | 1,6<br>2,4<br>3,2<br>4 | 4<br>5,5<br>8<br>11 | 1<br>1,15<br>1,6<br>2 |
| 2-21, *в* | >7,5 до 12,5<br>>12,5 до 16<br>>16 до 22<br>Больше 22 | 1,6<br>2,4<br>3,2<br>4 | —<br>—<br>—<br>— | —<br>—<br>—<br>— |

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

# ПЕТЛЕВЫЕ ОБМОТКИ С ЦЕЛЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ (С ОДИНАКОВЫМИ ПО ЧИСЛУ КАТУШЕК ГРУППАМИ)

## А. СХЕМЫ И ТАБЛИЦЫ СОЕДИНЕНИЙ

**3-1. Рассматриваемые в главе обмотки.** В данной главе рассматриваются многофазные петлевые обмотки, для которых

$$\frac{\textit{полное число пазов}}{\textit{число полюсов} \times \textit{число фаз}} = \textit{целому числу},$$

т. е. обмотки, имеющие целое число пазов на полюс и фазу (см. гл. 1) и, следовательно, одно и то же число единичных катушек во всех полюсно-фазных группах. Например, статор с 54 пазами для 6-полюсного трехфазного двигателя имеет $\frac{54}{6\times3}=3$ паза на полюс и фазу (ППФ=3), а каждая полюсно-фазная группа состоит из трех единичных катушек; статор с 72 пазами для 4-полюсного трехфазного двигателя имеет $\frac{72}{4\times3}=6$ пазов на полюс и фазу и соответственно каждая полюсно-фазная группа имеет 6 единичных катушек. Петлевые обмотки с неодинаковыми числами катушек в полюсно-фазных группах рассматриваются в гл. 4.

**3-2. Изображение, нумерация и обозначение полюсно-фазных групп.** В последующих схемах соединений полюсно-фазная группа изображается одной линией. Следовательно, схемы для обмоток с некоторым определенным числом пазов на полюс и фазу применимы для обмоток с любым числом пазов на полюс и фазу при условии, что число полюсов и число фаз остаются неизменными.

Во всех схемах соединений последовательность полюсно-фазных групп будет обозначаться по стрелке часов номерами 1, 2, 3, 4 и т. д., а различные фазы, к которым эти группы относятся, будут обозначаться буквами *A* и *B* для двухфазной обмотки и буквами *A*, *C* и *B* — для трех-

фазной. Смысл выбора последовательности $A$, $C$, $B$, а не $A$, $B$, $C$ поясняется в § 3-3. Далее, для обозначения различных фаз используются различные линии. Для двухфазных обмоток жирно начерченная сплошная линия используется для фазы $A$, пунктирная — для фазы $B$. Для трехфазных обмоток более жирно начерченная линия используется для фазы $A$, пунктирная — для фазы $B$ и менее жирная — для фазы $C$.

**3-3. Схемы и таблицы соединений и как ими пользоваться** (рис. 3-10—3-122 в конце данной главы). Как указывалось в § 1-6, каждая фаза имеет столько же полюсно-фазных групп, сколько имеется полюсов. Например, в 2-полюсной машине каждая фаза имеет две полюсно-фазные группы (см. рис. 3-37); в 4-полюсной машине каждая фаза имеет 4 полюсно-фазные группы (см. рис. 3-43) и т. д. Полюсно-фазные группы каждой фазы могут быть соединены все последовательно (см. рис. 3-65) или все параллельно (см. рис. 3-68) или части полюсно-фазных групп могут быть соединены последовательно и затем эти части с последовательно соединенными группами соединены параллельно (см. рис. 3-67).

Максимальное возможное *число параллельных ветвей* обмотки с целым ППФ равно числу полюсно-фазных групп фазы, т. е. *числу полюсов*. Если желательно иметь меньшее число параллельных ветвей, то число полюсов должно быть кратным этому меньшему числу. Например, в 12-полюсной машине максимальное возможное число параллельных ветвей 12, но можно также получить 6, 4, 3 и 2 параллельные ветви, так как 12 делится на любое из этих чисел. Если, например, желательно получить 4 параллельные ветви, то надо 12 полюсно-фазных групп каждой фазы, следующих одна за другой, разделить на 4 части с 3 последовательно соединенными группами и затем эти части соединить параллельно (см. рис. 3-94).

Две *следующие одна за другой полюсно-фазные группы* одной и той же фазы лежат под полюсами *различной полярности*, и ток протекает в них в различных направлениях; две *полюсно-фазные группы, следующие с чередованием через одну группу* какой-либо фазы, лежат под полюсами *одной и той же полярности*, и ток протекает в них в одном и том же направлении. Направление тока в отдельных полюсно-фазных группах указывается стрелками. Рассмотрим, например, рис. 3-43. Согласно дан-



ному правилу полюсно-фазная группа *4* снабжена стрелкой, направленной против стрелки полюсно-фазной группы *1*, тогда как полюсно-фазная группа *7* имеет стрелку того же направления, что и группа *1*. Из того же правила следует что для *последовательного соединения* 2 *следующих одна за другой* полюсно-фазных групп одной и той же фазы надо *конец* одной группы соединить с *концом* другой группы (см. рис. 3-43) и что для *последовательного соединения* 2 *полюсно-фазных групп, следующих с чередованием через одну группу* одной и той же фазы, надо *конец* одной группы соединить с *началом* другой группы (см. рис. 3-31).

Первый способ последовательного соединения полюсно-фазных групп называется *коротким соединением* или соединением *от верхнего к верхнему* или *от нижнего к нижнему*, второй способ — *длинным соединением* или соединением *от верхнего к нижнему*. Последний способ соединения используется главным образом для небольших машин (см. § 3-5). Все схемы соединений, за исключением изображенных на рис. 3-31—3-36, даны для обмоток с коротким соединением. Все таблицы относятся к тем же обмоткам.

В трехфазной обмотке с целым ППФ *начала фаз* сдвинуты на $^2/_3$ полюсного деления или на $^2/_3$ полюсного деления плюс любое *четное* число полюсных делений (см. § 1-9). Так как в трехфазной обмотке полюсно-фазная группа занимает $^1/_3$ полюсного деления (единственное исключение из этого правила рассматривается в гл. 9), то начала фаз могут быть смещены на расстояние, соответствующее двум полюсно-фазным группам, т. е. если началом фазы $A$ является начало 1-й полюсно-фазной группы, то началом фазы $B$ может служить начало 3-й полюсно-фазной группы, а началом фазы $C$ — начало 5-й полюсно-фазной группы. Следовательно, если 1-я полюсно-фазная группа отнесена к фазе $A$, то 3-я полюсно-фазная группа должна быть отнесена к фазе $B$. 2-я полюсно-фазная группа, которая лежит между фазами $A$ и $B$, должна при этом принадлежать фазе $C$. Этим и объясняется то, что в схемах соединений трехфазной обмотки указывается последовательность $A$, $C$, $B$.

В табл. 3-1 перечисляются нормальные схемы соединений двухфазных обмоток и соответствующие им таблицы соединений (3-6—3-9). В табл. 3-2 перечисляются нормаль-

ные схемы и таблицы соединений трехфазных обмоток **с длинным соединением** или соединением групп **от верхнего к нижнему** («в — н»). Так как обмотки с длинным соединением применяются сравнительно редко, то приводятся схемы соединений только для 4-полюсных обмоток, но метод составления схем таких обмоток детально рассматривается в § 3-10. В табл. 3-3 перечисляются нормальные схемы и таблицы соединений трехфазных обмоток **с коротким соединением** групп или соединением их **от верхнего к верхнему** («в — в»). Указанные таблицы (3-1—3-3) относятся к обмоткам, рассматриваемым в данной главе.

Табл. 3-4 — **основная таблица** для двухфазных обмоток, в которой приведены для различных чисел полюсов (до 24) и различных чисел пазов (до 144) соответствующие значения ППФ и числа полюсно-фазных групп. Табл. 3-5—**основная таблица** для трехфазных обмоток; она продолжена до 52 полюсов и 540 пазов. Назначение этих основных таблиц — дать возможность обмотчику быстро определить надлежащее число полюсно-фазных групп и число пазов на полюс и фазу для любого соотношения чисел пазов и полюсов. Для обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу соответствующие ППФ указаны жирным шрифтом. Для симметричных обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу ППФ указаны нормальным шрифтом (эти обмотки рассматриваются в гл. 4, 6 и 7), тогда как для несимметричных обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу (рассматриваются в гл. 5 и 8) ППФ указаны курсивом со звездочкой. Следовательно, в таблицах также указывается, являются ли обмотки при данном ППФ симметричными или несимметричными. Кроме того, они могут служить для определения надлежащей группировки катушек специальных обмоток, но эта часть таблицы будет рассматриваться позднее.

Схемы соединений (см. стр. 106—177) являются полными и показывают, как должны быть соединены полюсно-фазные группы при последовательном и параллельном соединениях. Для трехфазных обмоток схемы даны для соединений звездой и треугольником. Даны также схемы для соединений при двух напряжениях. Небольшие двигатели обычно рассчитываются таким образом, чтобы их можно было легко использовать при двух напряжениях, например 220 и 440 или 110 и 220 *в* *.

* В СССР такие двигатели заводами не изготовляются. (Ред.)



Таблицы соединений 3-6—3-9 для двухфазных и 3-10—3-24 для трехфазных обмоток даны, как отмечалось ранее, только для обмоток с короткими соединениями. Длинные междугрупповые соединения могут быть использованы для всех обмоток с целым ППФ, но не могут быть использованы для некоторых обмоток с дробным ППФ (см. гл. 4), что следует иметь в виду. Хотя схемы и таблицы соединений относятся к ограниченным числам полюсов и пазов, подробные сведения, сообщаемые в § 3-4—3-15, позволят обмотчику составить схему обмотки для любого числа полюсов и любого выбранного им соединения. Использование схем и таблиц для петлевых обмоток будет пояснено на нескольких примерах.

Рассмотрим вначале двухфазную обмотку с 48 пазами при 8 полюсах и последовательном соединении групп. Из основной табл. 3-4 для двухфазных обмоток следует, что при 8 полюсах и 48 пазах получается 16 полюсно-фазных групп и ППФ=3, т. е. каждая полюсно-фазная группа состоит из 3 единичных катушек. В табл. 3-1 указывается, что при 8 полюсах и последовательном соединении надлежащая схема соединений приведена на рис. 3-24. Если для того же самого примера желательно иметь соединение с 2 параллельными ветвями, то согласно табл. 3-1 надо использовать схему соединений, представленную на рис. 3-25.

Рассмотрим теперь трехфазную обмотку со 168 пазами при 14 полюсах, имеющую последовательное соединение групп и сопряжение фаз в звезду. В основной табл. 3-5 указано, что при 168 пазах и 14 полюсах получаются 42 полюсно-фазные группы и ППФ=4. В табл. 3-3 указывается, что при последовательном соединении групп и сопряжении фаз в звезду надлежащая схема соединений приведена на рис. 3-111. Если желательно иметь данную обмотку соединенной в треугольник при последовательном соединении групп, то согласно той же таблице надо использовать схему соединений на рис. 3-117. Другие схемы соединений также указываются. Если соединения обмотки выполняются без использования схем соединений, то согласно табл. 3-3 может быть использована таблица соединений 3-16. В табл. 3-16 указываются способы соединения полюсно-фазных групп каждой фазы: последовательное, в 2, 7 и 14 параллельных ветвей. «Н1» обозначает начало группы *1*, «Н4» — начало группы *4*, «К16» — конец группы *16* и т. д. Стрелка соответствует групповому соединению.

При последовательном соединении групп фазы $A$ линейный вывод $C_1$ соединяется с началом группы *1* (Н1). Конец фазы $A$ (вывод $C_4$) соединяется с началом группы *40* (Н40). Аналогично для фазы $B$ линейный вывод $C_2$ соединяется с Н3, а $C_5$ — с Н42; для фазы $C$ линейный вывод $C_3$ соединяется с Н5, а $C_6$ — с Н2. Теперь при последовательном соединении и сопряжении фаз в звезду $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединяются между собой, а $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединяются к сети; для соединения треугольником $C_4$ соединяется с $C_2$, $C_5$ — с $C_3$ и $C_6$ — с $C_1$, а к сети присоединяются точки соединений $C_6 — C_1$, $C_4 — C_2$ и $C_5 — C_3$.

В таблице также указывается, как перейти от последовательного соединения к соединению с 2 параллельными ветвями. Можно видеть, что если в фазе $A$ междугрупповое соединение между К19 и К22 разомкнуть и конец К22 соединить с Н1, а конец К19 — с Н40, то будет выполнено параллельное соединение в фазе $A$. Аналогичным образом выполняются соединения с 2 параллельными ветвями для фаз $B$ и $C$, как указывается в таблице. Отсюда следует, что соединения для обмоток могут быть легко выполнены без использования схем соединений и что, кроме того, при использовании таблиц соединений можно перейти от последовательного соединения к соединению с 2 параллельными ветвями или другим соединениям. Поэтому таблицы для трехфазных обмоток составлены для чисел полюсов до 30.

## Б. СХЕМЫ ДВУХФАЗНЫХ ОБМОТОК

**3-4. Составление схем двухфазных обмоток.** Составление схем двухфазных обмоток и их проверка лучше всего могут быть показаны на примерах. В качестве примера возьмем 4-полюсную машину. Вначале определим число полюсно-фазных групп. Оно может быть определено при помощи уравнения (1-4), согласно которому имеем:

*Число полюсно-фазных групп=число полюсов×число фаз,*

т. е. в случае 4-полюсной машины число полюсно-фазных групп равно 4×2=8. Эти 8 групп показаны на рис. 3-1а. Они пронумерованы по направлению движения часовой стрелки числами 1—8. Группы *1*, *3*, *5* и *7* принадлежат фазе А и изображены сплошными линиями; группы *2*, *4*, *6* и *8* принадлежат фазе $B$ и изображены пунктирными линиями.



Каждая полюсно-фазная группа имеет начало и конец. При обходе окружности на рис. 3-1а в направлении движения стрелки часов будем считать, так же как для предварительно рассмотренных схем соединений, что начало каждой линии, условно изображающей полюсно-фазную группу, есть начало этой группы, и конец линии — конец этой группы. Тогда, так как две следующие одна за другой полюсно-фазные группы одной и той же фазы лежат под полюсами различных полярностей, последовательное соединение этих двух групп может быть получено соединением или их концов, или начал, тогда как при параллельном соединении тех же двух групп надо начало одной группы соединить с концом другой группы.

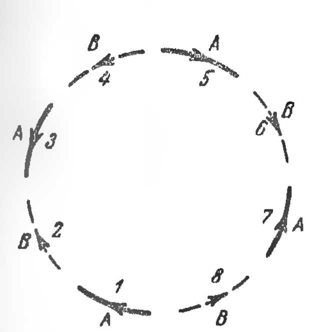


Рис. 3-1а. Двухфазная 4-полюсная обмотка. Размещение полюсно-фазных групп.

Рис. 3-1б. Двухфазная 4-полюсная обмотка при последовательном соединении фазы $A$.

С другой стороны, так как две полюсно-фазные группы фазы, между которыми находится одна группа той же фазы, лежат под полюсами одинаковой полярности, то для последовательного соединения таких групп конец одной группы надо соединить с началом другой группы; для параллельного соединения начала, а также концы обеих групп должны быть соединены соответственно между собой.

На рис. 3-1б показано последовательное соединение 4 полюсно-фазных групп фазы $A$. Конец группы *1* соединен с концом группы *3*, начало группы *3* соединено с началом группы *5* и конец группы *5* соединен с концом группы *7*. Начало группы *1* и начало группы *7* являются началом ($C_1$) и концом ($C_3$) фазы $A$, т. е. ее основными выводами.

На рис. 3-1в показано соединение 4 полюсно-фазных групп фазы $A$ в 2 параллельные ветви. Группы *1* и *3*,

а также группы 5 и 7 соединены последовательно, как и на рис. 3-1б, но здесь начало группы 5 соединяется с началом группы 1, а начало группы 3 — с началом группы 7. Соединение с 2 параллельными ветвями (рис. 3-1в) легко получить из последовательного соединения (рис. 3-1б) путем устранения соединения между началом группы 3 и началом группы 5 и соединением начала группы 3 с выводом $C_3$ и начала группы 5 с выводом $C_1$.

На рис. 3-1г показан другой способ соединения с 2 параллельными ветвями. Группы 1 и 3 соединены, как на рис. 3-1в, т. е. конец группы 1 соединен с концом группы 3.

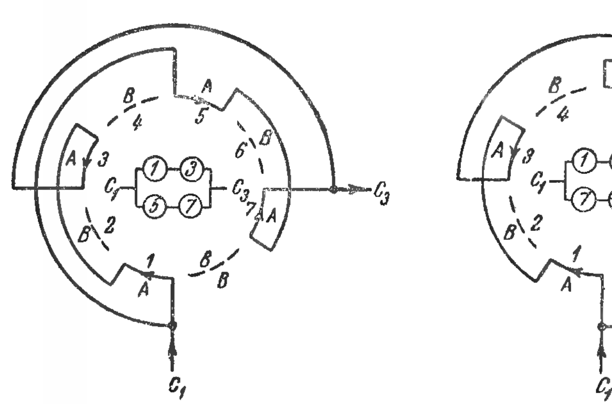
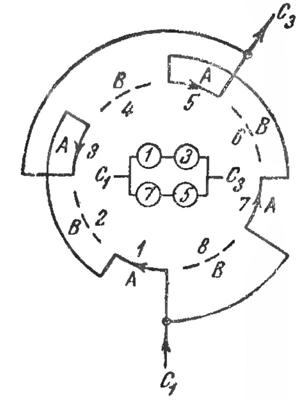




Рис. 3-1в. Двухфазная 4-полюсная обмотка при соединении фазы $A$ в 2 параллельные ветви.

Рис. 3-1г. Двухфазная 4-полюсная обмотка при соединении фазы $A$ в 2 параллельные ветви.

В группах 5 и 7 между собой соединены начала, а не концы; после этого начало группы 1 соединено с концом группы 7 коротким соединением, а другое короткое соединение сделано между началом группы 3 и концом группы 5.

Из сравнения двух схем соединений, представленных на рис. 3-1в и г, следует, что при изменении параллельного соединения на последовательное при первой схеме понадобится меньше времени и труда, чем при второй схеме. Другое преимущество схемы соединений, показанной на рис. 3-1в, рассматривается в § 3-15.

На рис. 3-1д показано, как получаются 4 параллельные ветви из 4 полюсно-фазных групп фазы $A$. Здесь начало группы 1 присоединяется к концу группы 3, к началу группы 5 и к концу группы 7; далее, конец группы 1 присоеди-



няется к началу группы 3, к концу группы 5 и к началу группы 7. Как предварительно отмечалось, **максимальное число параллельных ветвей двухслойной петлевой обмотки с целым ППФ равно числу полюсов.**

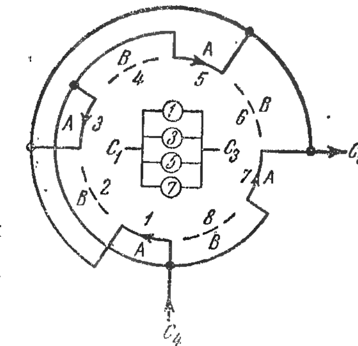



Рис. 3-1д. Двухфазная 4-полюсная обмотка при соединении фазы $A$ в 4 параллельные ветви.

**3-5. Короткие и длинные междугрупповые соединения.** Обратимся к рис. 3-1б, где показано последовательное соединение групп. Следующие одна за другой полюсно-фаз-

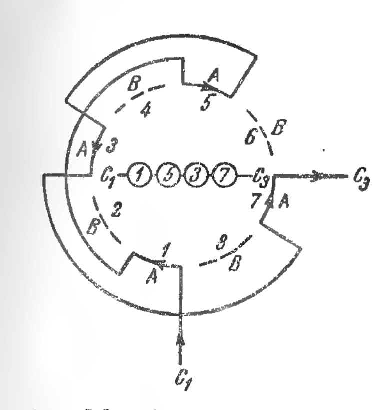



Рис. 3-2а. Двухфазная 4-полюсная обмотка при последовательном соединении с длинными междугрупповыми соединениями.

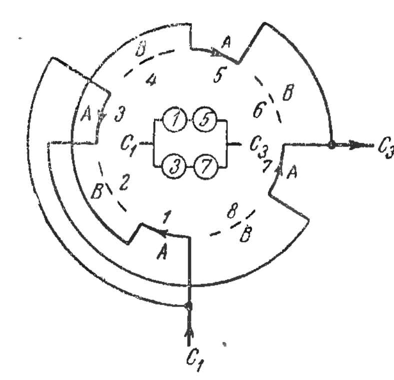



Рис. 3-2б. Двухфазная 4-полюсная обмотка с 2 параллельными ветвями с длинными междугрупповыми соединениями.

ные группы, например группы 1 и 3, группы 3 и 5 и т. д., лежат под полюсами различной полярности; последовательное соединение сделано таким образом, что 2 следующие одна за другой группы, соединенные между собой,

принадлежат полюсам различной полярности. Последовательное соединение может быть выполнено по-другому, а именно: сначала последовательным соединением всех групп, лежащих под полюсами одной и той же полярности, а затем соединением между собой двух частей обмотки. Это показано на рис. 3-2а. Здесь конец группы *1* соединен длинным соединением с началом группы *5*; начало группы *3* соединено длинным соединением с концом группы *7* и конец группы *5* соединен коротким соединением с концом группы *3*.

На рис. 3-2б представлена схема с длинными соединениями при 2 параллельных ветвях. Здесь 2 последовательно соединенные группы *1* и *5*, лежащие под полюсами одной полярности, соединены параллельно с 2 последовательно соединенными группами *3* и *7*, лежащими под полюсами другой полярности.

Для больших машин, особенно при большом числе полюсов, преимущественное применение находят схемы с короткими соединениями. Концы катушек в этом случае делаются достаточно длинными, чтобы их можно было использовать как междугрупповые соединения, что позволяет сократить количество добавочных проводников и пасек, необходимых при схемах с длинными соединениями. Получается также меньше перекрещиваний, чем при длинных соединениях. Однако если обмотка имеет 2 параллельные ветви, то при использовании длинных соединений может быть получено значительное уменьшение длины выводных концов от обмотки до зажимов по сравнению с тем, что получается при коротких соединениях. Схема с длинными соединениями имеет все начала и концы фаз на одной стороне обмотки в пределах угла, меньшего 180 геометрических градусов. В машинах с малым числом полюсов и последовательным соединением всех полюсно-фазных групп каждой фазы не получается большого различия между схемами с короткими соединениями и схемами с длинными соединениями. В небольших машинах с большим числом полюсов длинные соединения имеют некоторое преимущество, так как при них более удобно выполнять обмотку. Если обмотка имеет параллельные ветви, то, как будет объяснено позднее (см. § 3-15), при коротких соединениях происходит выравнивание магнитных потоков и, следовательно, ослабление силы одностороннего притяжения в гораздо большей степени, чем при длинных соединениях.



**3-6. Определение начал фаз.** В двухфазной обмотке начала фаз смещены на одну полюсно-фазную группу (см. § 1-9), т. е. началами фаз являются начала или концы следующих одна за другой полюсно-фазных групп. Так как на полюс приходятся 2 полюсно-фазные группы, то начала фаз для обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу находятся в пазах, смещенных один относительно другого на половину полюсного деления. Вследствие симметрии концы фаз также смещены на половину полюсного деления. Это правило не зависит от типа соединений, т. е. оно относится как к последовательному, так и к любому виду параллельных соединений.

**3-7. Проверка схемы двухфазной обмотки.** Так как 2 следующие одна за другой группы одной и той же фазы лежат под полюсами различной полярности, то стрелки на линиях, изображающих группы, попеременно изменяют свое направление (см. рис. 3-1а). Рассмотрим какой-либо из рис. 3-1 или 3-2, например рис. 3-1б. Обходя группы фазы *A* от вывода $C_1$, надо соединения групп выполнить таким образом, чтобы направление обхода совпадало с направлением всех стрелок, как показано на рис. 3-1б — г и 3-2. На этих рисунках показаны соединения только для фазы *A*. Если имеются две фазы (см. рис. 3-1а и, например, рис. 3-13), то стрелки в 2 соседних группах должны иметь одно и то же направление, а в 2 ближайших группах — противоположное направление. Следовательно, чтобы проверить схему обмотки, надо принять, что в фазе *A* протекает ток в направлении от вывода $C_1$ к выводу $C_3$ этой фазы. Затем, обходя все полюсно-фазные группы фазы *A* и соединения между ними от вывода $C_1$ до вывода $C_3$, надо нанести на каждой группе стрелки в направлении обхода. То же самое надо повторить для фазы *B*, начиная от вывода $C_2$. Схема обмотки будет правильной, если с т р е л к и 2 с о с е д н и х г р у п п н а п р а в л е н ы в о д н у с т о р о н у, б л и ж а й ш и х 2 — в п р о т и в о п о л о ж н у ю с т о р о н у, затем в следующих 2 они имеют первоначальное направление и т. д. Если это условие не удовлетворяется, то схема будет неправильной.

Аналогичный метод может быть применен при проверке обмотки, уже заложенной в пазы. Каждая фаза проверяется отдельно пропусканием через нее постоянного тока. При этом необходимо, чтобы один и тот же зажим источника постоянного тока присоединялся к обоим выводам $C_1$ и $C_2$, т. е. чтобы т о к п р о т е к а л ч е р е з о б е ф а з ы

в одном и том же направлении. Сначала пропускается ток через фазу *A* и при помощи компаса, помещенного вблизи сердечника у центров полюсно-фазных групп, отмечаются магнитные полярности всех групп (*1, 3, 5* и т. д.), принадлежащих этой фазе. Отметки делаются, начиная с группы *1*, положение которой определяется по выводному концу фазы; при этом следует иметь в виду, что если северный конец стрелки компаса направлен к сердечнику, то данная группа имеет южную полярность (*S*). Должно получиться столько же полюсов, сколько имеется полюсно-фазных групп, и полярности полюсов должны попеременно чередоваться (*N* и *S*). Затем зажимы источника постоянного тока переключаются на фазу *B* и, начиная с полюсно-фазной группы *2*, отмечаются полюсно-фазные группы этой фазы при помощи мела другого цвета или отметками, нанесенными в других местах: например, отметками для фазы *A* на одной стороне сердечника, а для фазы *B* на другой его стороне. В случае, если обмотка соединена правильно, 2 полюсно-фазные группы должны иметь отметки *N*, ближайшие 2 — *S*, следующие 2 — снова *N* и т. д. Число таких пар будет равно числу полюсов.

Наличие и направление вращающих сил (т. е. вращающегося поля) могут быть проверены при двухфазной и трехфазной обмотках при помощи вспомогательного ротора или стального шарика [1]. Однако такая проверка не всегда гарантирует правильность соединений между отдельными катушками.

**3-8. Соединения для двух напряжений.** Как ранее указывалось, небольшие двигатели, примерно до 12 *квт*, иногда выполняются таким образом, что они могут быть легко использованы при двух или более напряжениях. Например, обмотка может быть выполнена при последовательном соединении на 220 *в* и при соединении с 2 параллельными ветвями на 110 *в* или при последовательном соединении на 440 *в* и при соединении с 4 параллельными ветвями на 110 *в*.

Переход от одного напряжения к другому упрощается, если сделаны добавочные выводы от обмотки. Если, например, на рис. 3-1б начала групп *3* и *5* используются как выводы, то легко может быть получено соединение с 2 параллельными ветвями по рис. 3-1в; тогда обмотка может быть использована для двух напряжений при их отношении 2 : 1. Число выводов на фазу здесь будет 4 вместо 2, необходимых в случае обмотки для одного напряжения. При 8 выводах на фазу последовательное соединение по рис. 3-1б легко можно изменить на соединения с 2 или 4 параллельными ветвями (рис. 3-1в и д).

[1] Стальной шарик, положенный на внутреннюю поверхность сердечника статора, будет вращаться против направления вращения поля, что обусловлено одновременным действием сил магнитного притяжения и электромагнитных сил от взаимодействия поля и наведенных им в шарике токов. (Ред.)



## В. СХЕМЫ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

**3-9. Составление схем трехфазных обмоток.** Пазы, приходящиеся на один полюс при трехфазной обмотке, делятся на 3 части соответственно числу фаз, т. е. здесь получаются 3 полюсно-фазные группы на полюс в отличие от двухфазной обмотки, которая имеет только 2 полюсно-фазные группы на полюс. Две следующие одна за другой группы одной и той же фазы смещены на 2 полюсно-фазные группы.

Схемы трехфазных обмоток будем изучать на примере 4-полюсной машины, так же как это делалось для двухфазных обмоток. Число полюсно-фазных групп определяется по уравнению (1-4):

*Число полюсно-фазных групп = число полюсов × число фаз.*

Таким образом, в случае 4-полюсной обмотки число полюсно-фазных групп равно $4\times3=12$. На рис. 3-3а показаны эти 12 групп. Они пронумерованы, как и ранее, по направлению движения стрелки часов. Группы *1, 4, 7* и *10* принадлежат фазе *A*; группы *2, 5, 8* и *11* — фазе *C*, группы *3, 6, 9* и *12* — фазе *B*. Причина, по которой группа *2* вместе с группами *5, 8* и *11* отнесена к фазе *C*, а не к фазе *B*, была объяснена в § 3-3. В данной схеме, так же как и в последующих, группы фазы *A* обозначены более жирными линиями, группы фазы *B* — пунктирными линиями и группы фазы *C* — менее жирными линиями. Так как 2 следующие одна за другой полюсно-фазные группы одной и той же фазы лежат под полюсами различной полярности, то стрелки, поставленные на них, должны иметь различные направления. Поэтому стрелка группы *4* (рис. 3-3а) направлена против стрелки группы *1*, стрелка группы *7* — против стрелки группы *4* и т. д. Для пояснения соединений полюсно-фазных групп будет рассматриваться только фа-

за *А*. Полная схема представлена на рис. 3-5. Снова примем, что при обходе по направлению движения стрелки часов начало каждой линии, условно изображающей полюсно-фазную группу, является началом этой группы, а конец линии — концом этой группы. Тогда, как и для двухфазной обмотки, последовательное соединение 2 следующих одна за другой групп одной и той же фазы может быть выполнено соединением между собой концов или начал их, а для параллельного соединения тех же

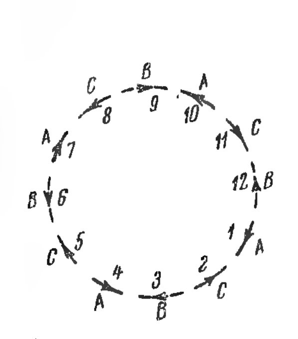



Рис. 3-3а. Двухфазная 4-полюсная обмотка. Размещение полюсно-фазных групп.

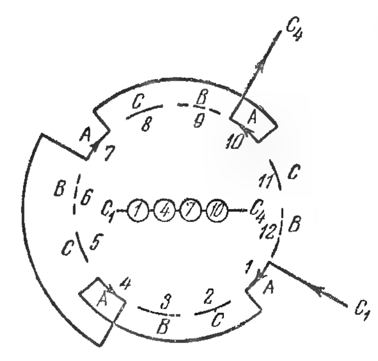



Рис. 3-3б. Трехфазная 4-полюсная обмотка при последовательном соединении фазы *А*.

самых групп надо соединить начало одной группы с концом другой группы. С другой стороны, так как 2 полюсно-фазные группы одной фазы, смещенные на одну группу (этой же фазы), лежат под полюсами одинаковой полярности, то для последовательного соединения 2 таких групп надо конец одной группы соединить с началом другой группы, а для параллельного соединения надо соединить между собой соответственно начала и концы обеих групп.

На рис. 3-3б показано последовательное соединение 4 полюсно-фазных групп фазы *А*. Согласно приведенному выше правилу конец группы *1* соединяется с концом группы *4*, начало группы *4* — с началом группы *7* и конец группы *7* — с концом группы *10*. Начало группы *1* и начало группы *10* являются началом $C_1$ и концом $C_4$, т. е. выводами фазы *А*.

На рис. 3-3в показано соединение 4 полюсно-фазных групп фазы *А* в 2 параллельные ветви. Группы *1* и *4*, а также группы *7* и *10* соответственно соединены последова-



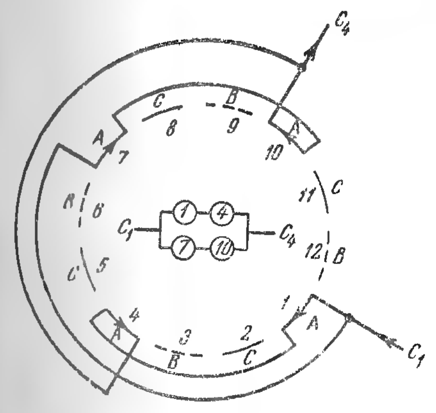



Рис. 3-3в. Трехфазная 4-полюсная обмотка при соединении фазы *А* в 2 параллельные ветви.

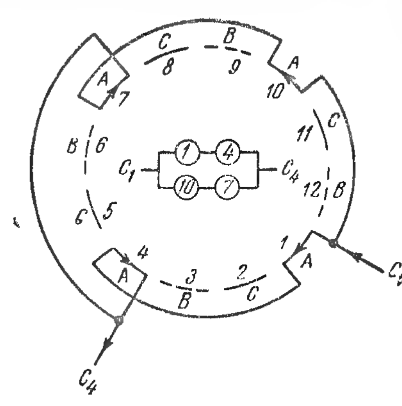



Рис. 3-3г. Трехфазная 4-полюсная обмотка при соединении фазы *А* в 2 параллельные ветви.

тельно, как на рис. 3-3б, но здесь начало группы *7* соединено с началом группы *1* и начало группы *4* соединено с началом группы *10*. Соединение с 2 параллельными ветвями (рис. 3-3в) легко получается из последовательного соединения (рис. 3-3б) путем устранения соединения между началом группы *4* и началом группы *7* и присоединением начала группы *4* к выводу $C_4$, а начала группы *7* к выводу $C_1$.

На рис. 3-3г показан другой способ соединения в 2 параллельные ветви. Группы *1* и *4* соединены, как на рис. 3-3в, т. е. конец группы *1* соединен с концом группы *4*. В группах *7* и *10* вместо концов соединены между собой начала и затем сделано короткое соединение между началом группы *1* и концом группы *10*, а другое короткое соединение сделано между началом группы *4* и концом группы *7*. Преимущество соеди-

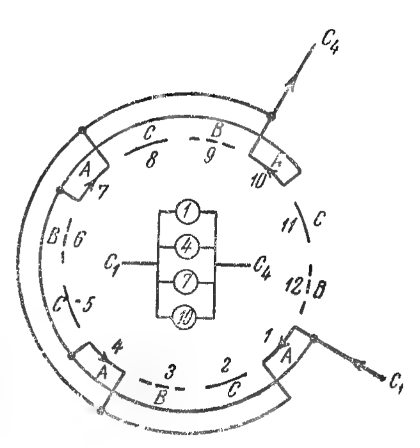



Рис. 3-3д. Трехфазная 4-полюсная обмотка при соединении фазы *А* в 4 параллельные ветви.

нения с 2 параллельными ветвями по рис. 3-3в по сравнению с таким же соединением по рис. 3-3г рассматривается в § 3-15.

На рис. 3-3д показано соединение 4 полюсно-фазных групп фазы *А* в 4 параллельные ветви. Здесь начало группы *1* присоединено к концу группы *4*, к началу группы *7* и к концу группы *10*; далее конец группы *1* присоединен к началу группы *4*, к концу группы *7* и к началу группы *10*.

М а к с и м а л ь н о е  ч и с л о  п а р а л л е л ь н ы х  в е т в е й двухслойных петлевых обмоток с целым ППФ р а в н о  ч и с л у  п о л ю с о в.

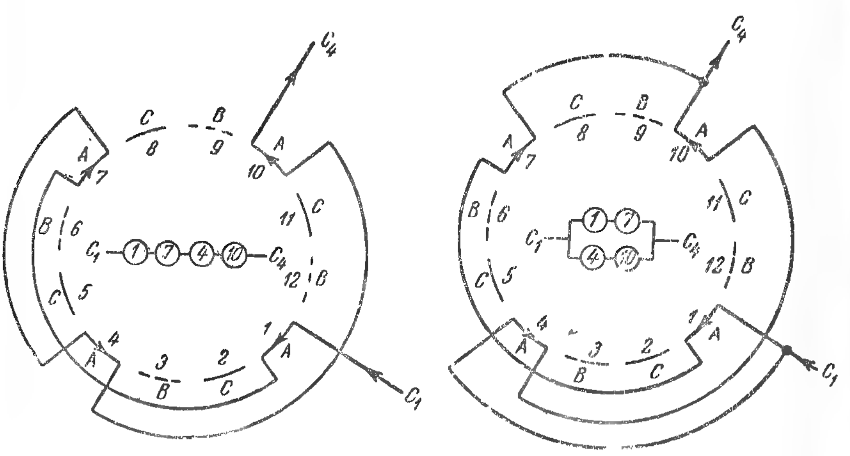



Рис. 3-4а. Трехфазная 4-полюсная обмотка при последовательном соединении с длинными междугрупповыми соединениями („в—н").

Рис. 3-4б. Трехфазная 4-полюсная обмотка с 2 параллельными ветвями с длинными междугрупповыми соединениями („в—н").

**3-10. Короткие и длинные междугрупповые соединения.** В трехфазных обмотках, так же как и в двухфазных, соединения между полюсно-фазными группами могут быть короткими или длинными.

Обратимся к рис. 3-3б, где показано последовательное соединение групп. Две следующие одна за другой группы одной и той же фазы, например группы *1* и *4*, *4* и *7* и т. д., лежат под полюсами различной полярности; последовательное соединение здесь сделано таким образом, что указанные группы, соединенные между собой, принадлежат полюсам различной полярности. Последовательное соеди-



нение может быть выполнено также и по-другому, а именно: сначала последовательным соединением всех групп, которые лежат под полюсами одинаковой полярности, и затем соединением между собой двух полученных частей обмотки. Это показано на рис. 3-4а. Здесь между концом группы *1* и началом группы *7* сделано длинное соединение; между началом группы *4* и концом группы *10* также сделано длинное соединение, а между концом группы *7* и концом группы *4* сделано короткое соединение.

На рис. 3-4б показана схема с 2 параллельными ветвями при длинных соединениях. Здесь две группы *1* и *7*, соединенные последовательно длинным соединением, включены параллельно с двумя группами *4* и *10*, также соединенными последовательно длинным соединением. Как и на рис. 3-4а, группы *1* и *7* лежат под полюсами с полярностью, отличающейся от полярности полюсов для групп *4* и *10*.

**3-11. Определение начал фаз.** Определение начал фаз здесь не так просто, как и для двухфазной обмотки. Трехфазная обмотка состоит из 3 частей, смещенных на $^2/_3$ полюсного деления, т. е. начала 3 частей, а вследствие симметрии и их концы имеют сдвиг между собой на $^2/_3$ полюсного деления (см. § 1-9 и 3-3). Так как полюсно-фазная группа в трехфазной обмотке обычно занимает $^1/_3$ полюсного деления, то отсюда следует, что начала фаз должны быть смещены на 2 п о л ю с н о - ф а з н ы е  г р у п п ы, чтобы удовлетворить условию, согласно которому они должны быть сдвинуты одно относительно другого на $^2/_3$ полюсного деления. Таким образом, на рис. 3-3а начала или концы групп *1*, *3* и *5* или групп *11*, *1* и *3*, или каких-либо других 3 групп со сдвигом между ними в 2 полюсно-фазные группы могут быть приняты за начала фаз. Однако при выборе начал фаз можно заменить любую группу группой, сдвинутой от нее на 2 полюсных деления (или на число делений, кратное 2). Например, вместо использования начал или концов групп *1*, *3* и *5* можно принять за начала фаз начала или концы групп *7*, *3* и *5* или начала или концы групп *1*, *9* и *5*. В первом случае группа *7* заменяет группу *1*, во втором случае группа *9* заменяет группу *3*. Группа *7* сдвинута на 2 полюсных деления относительно группы *1*, группа *9* сдвинута на 2 полюсных деления относительно группы *3*. Обычно начала фаз выводятся к зажимам и располагаются по возможности недалеко одно от другого.

**3-12. Проверка трехфазной обмотки.** Обратимся к рис. 3-5, где показаны все три фазы рассмотренной ранее обмотки (см. рис. 3-3а—3-4б). Для того чтобы проверить, правильно ли соединена обмотка или нет, предположим, что ток входит в каждый из 3 выводов $C_1$, $C_2$ и $C_3$. Обойдем отдельно каждую фазу через все ее группы и отметим на каждой группе стрелкой направление, в котором обходится эта группа. Схема соединений будет правильной, если не получится ни одной пары соседних стрелок с одним и тем же направлением, т. е. если направление изменяется после обхода каждой группы. Эта проверка основана на том, что если постоянный ток протекает в 3 фазах надлежащим образом соединенной обмотки, то компас, помещенный против следующих друг за другом полюсно-фазных групп, будет показывать различные полярности. Отсюда следует, что постоянный ток может быть использован для проверки схемы обмотки, уже заложенной в пазы. Но при этом приходится применять различные способы для соединений обмотки в звезду и в треугольник (см. § 3-13).

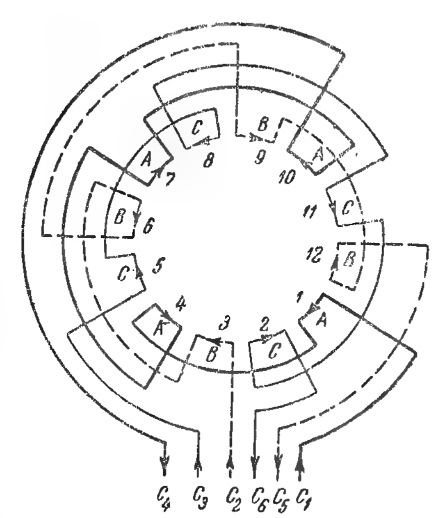


Рис. 3-5. Трехфазная обмотка. Проверка соединений.

Если обмотка соединена в звезду, то один из зажимов источника постоянного тока присоединяется к нейтральной точке (или точкам, если имеется несколько параллельных звезд), а другой его зажим — попеременно к выводам $C_1$, $C_2$ и $C_3$ (рис. 3-6). При соединении зажима источника постоянного тока с выводом $C_1$ используется компас, так же как было указано в § 3-7; при этом отмечаются полюсно-фазные группы фазы $A$ (*1*, *4*, *7* и т. д.) буквами $N$ или $S$ в зависимости от показаний компаса. Затем переключают постоянный ток на вывод $C_2$ и отмечают полюсно-фазные группы фазы $B$; наконец, переключают постоянный ток на вывод $C_3$ и отмечают полюсно-фазные группы фазы $C$.



Можно рекомендовать использование цветных мелков для различных фаз или делать отметки для трех фаз в различных точках, например для фаз $A$ и $C$ вблизи торцов сердечника, а для фазы $B$ в середине сердечника. Если обмотка соединена правильно, то отметки $N$ и $S$ следуют попеременно вдоль всей окружности сердечника. Если получаются 2 следующие одна за другой отметки $N — N$ или $S — S$, то это указывает на ошибки, допущенные при выполнении соединений.

Если обмотка соединена в треугольник, то одно из соединений выводов должно быть разомкнуто, например в точке $C_1 — C_6$ (рис. 3-7), где соединяются между собой

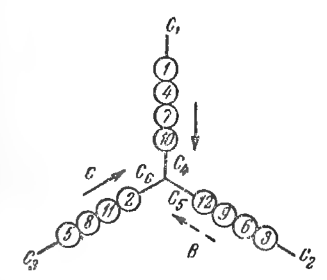


Рис. 3-6. Соединение звездой.

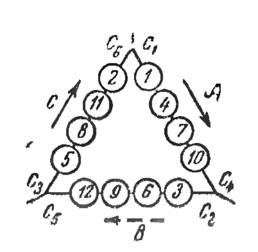


Рис. 3-7. Соединение треугольником.

фазы $A$ и $C$. Все другие соединения должны быть оставлены без изменения. Постоянный ток должен протекать во всех трех фазах в одном и том же направлении, т. е. или от начал фаз к их концам, или обратно; только в этом случае проверка может дать правильные результаты. При опыте сначала отмечают один из зажимов источника постоянного тока и присоединяют его к $C_1$ или $C_6$ — одной из точек в разомкнутой вершине треугольника. Другой зажим источника постоянного тока присоединяют к одной из неразомкнутых вершин треугольника (к точке $C_2 — C_4$ или $C_3 — C_5$), чтобы при данном напряжении получился наибольший ток. Тогда ток будет протекать только по одной фазе. При этом делаются отметки $N$ и $S$, соответствующие полярностям данной фазы, определяемым при помощи компаса, как указывалось ранее. После этого переключают отмеченный зажим постоянного тока на точку, к которой был подключен неотмеченный зажим постоянного тока, а последний переключают на вторую неразомкнутую вершину треугольника. Снова ток будет протекать только через

одну фазу. Отмечают полярности этой фазы. Наконец, переключают отмеченный зажим постоянного тока на вторую неразомкнутую вершину треугольника, т. е. присоединяют его к точке, к которой был присоединен неотмеченный зажим постоянного тока, а этот зажим переключают на вывод $C_6$, если за начало был принят вывод $C_1$, или на вывод $C_1$, если за начало был принят вывод $C_6$. Теперь ток будет протекать по третьей фазе. Отмечают ее полярности. Как и при соединении звездой, схему соединений обмотки следует считать правильной, если $N$ и $S$ попеременно чередуются при обходе всей обмотки. Отметим, что вершина треугольника $C_1 - C_6$ использовалась только в качестве примера. Любая вершина треугольника может быть разомкнута при опытной проверке соединений обмотки. (См. в § 3-7 о проверке трехфазной обмотки при помощи вспомогательного ротора или стального шарика.)

**3-13. Соединения звездой (Y) и треугольником (△).** Три фазы трехфазной обмотки могут быть соединены двумя различными способами. Обратимся к рис. 3-5. Концы трех фаз $C_4$, $C_5$ и $C_6$ могут быть соединены между собой в общую точку, называемую **нейтральной точкой** (или нулевой); тогда оставшиеся начала фаз служат выводами. Полученное соединение показано схематически на рис. 3-6. Оно называется соединением **звездой**. Вместо соединения концов фаз в нейтраль можно в нейтраль соединить начала фаз $C_1$, $C_2$ и $C_3$; тогда выводами будут служить концы фаз $C_4$, $C_5$ и $C_6$. Таким образом, соединение трех фаз звездой получается, если или начала, или концы 3 фаз соединяются вместе в нейтральную точку, а 3 несоединенных провода используются как выводы.

На рис. 3-7 схематически показано соединение 3 фаз треугольником. Здесь конец фазы $A$ ($C_4$) соединен с началом фазы $B$($C_2$) и конец фазы $B$ ($C_5$) соединен с началом фазы $C$ ($C_3$) и конец фазы $C$ ($C_6$) соединен с началом фазы $A$ ($C_1$). Выводы присоединяются к вершинам треугольника. Соединение треугольником может быть также получено, если конец фазы $A$ ($C_4$) соединить с началом фазы $C$ ($C_3$), конец фазы $C$ ($C_6$) соединить с началом фазы $B$ ($C_2$) и конец фазы $B$ ($C_5$) соединить с началом фазы $A$ ($C_1$).

**3-14. Соединения для двух напряжений.** Как было упомянуто в § 3-8, небольшие двигатели иногда выполняются для различных напряжений, например для 110 и 220 или 220 и 440 *в*. В этом случае для высшего напряжения



используется последовательное соединение, а для низшего — параллельное. Переход от одного напряжения к другому упрощается, если делаются еще и добавочные выводы. Если, например, при схеме на рис. 3-3б начала групп *4* и *7* использовать для добавочных выводов, то легко можно получить соединение с 2 параллельными ветвями (рис. 3-3в), и тогда обмотка может быть использована для двух напряжений при отношении их 2 : 1. Число выводов на фазу в этом случае 4, а не 2, как у обмотки для одного напряжения. При 8 выводах на фазу последовательное соединение по рис. 3-3б может быть легко изменено на соединение с 2 или 4 параллельными ветвями и обмотка может быть использована для 3 напряжений при отношениях их 4 : 2 : 1. На практике обмотки для двух напряжений соединяются или звездой, или треугольником и имеют 9 выводов (3 на фазу), как показано на рис. 3-33 и 3-36.

**3-15. Магнитная несимметрия и уравнительные соединения.** Магнитная несимметрия вызывает одностороннее магнитное притяжение. В электрических машинах она может получиться вследствие неравномерности воздушного зазора вдоль окружности якоря, вызванной износом подшипников или чрезмерным натяжением ремня при ременной передаче, а также вследствие несимметрии обмотки. **Обмотка при последовательном соединении не оказывает влияния на силу одностороннего притяжения.** Обмотка при параллельном соединении способствует уменьшению несимметрии и силы одностороннего притяжения. В этом отношении обмотка с короткими междугрупповыми соединениями более эффективна, чем обмотка с длинными междугрупповыми соединениями, особенно в машинах с небольшим числом полюсов. В 4-полюсной или 6-полюсной машине обмотка с длинными соединениями при параллельных ветвях практически не создает выравнивающего действия. Значительное уменьшение магнитной несимметрии получается при использовании коротких и уравнительных соединений. С этой целью параллельные ветви должны быть соединены так, как показано на рис. 3-1в и 3-3в, но не так, как показано на рис. 3-1г и 3-3г. Из рис. 3-1в и 3-3в можно видеть, что полюсно-фазные группы, присоединенные к $C_1$ и $C_3$, и соответственно полюсно-фазные группы, присоединенные к $C_1$ и $C_4$, лежат в пазах сердечника противоположно друг другу, т. е. они сдвинуты на 180 геометрических градусов. Другие условия

получаются при схемах, представленных на рис. 3-1г и 3-3г. Можно также видеть, обращаясь к схемам параллельных ветвей, показанных на рис. 3-1в и 3-3в в центральной их части, что всегда имеются 2 полюсно-фазные группы, смещенные друг относительно друга на 180 геометрических градусов. Уравнительные соединения в этом случае делаются между каждыми двумя группами, соединенными последовательно. На рис. 3-8 и 3-9 показаны уравнительные соединения (*c*) для 4-полюсной и 8-полюсной трехфазных обмоток с 2 параллельными ветвями. Рис. 3-8 — такой же, как рис. 3-3в, но с уравнительными соединениями.

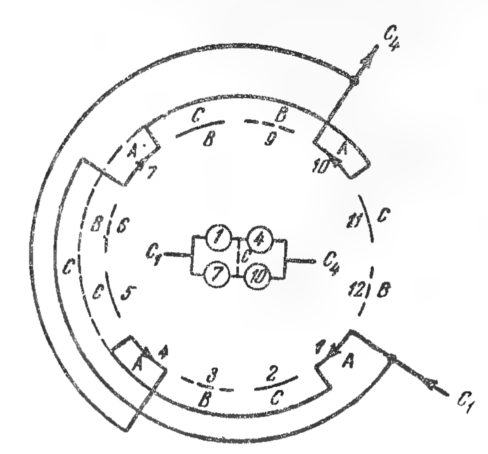


Рис. 3-8. Трехфазная 4-полюсная обмотка с 2 параллельными ветвями и уравнительными соединениями.

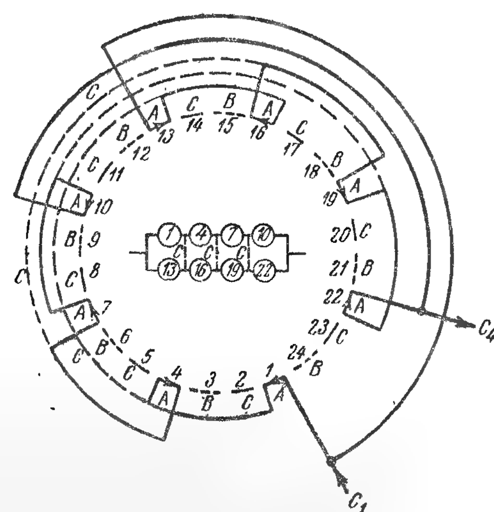


Рис. 3-9. Трехфазная 8-полюсная обмотка с 2 параллельными ветвями и уравнительными соединениями.

Уравнительные соединения используются редко: только в специальных случаях, когда ожидается относительно большая магнитная несимметрия, и только для обмоток с 2 параллельными ветвями. Если число параллельных ветвей больше 2 и применены короткие соединения, то можно считать, что в случае несимметрии выравнивающее действие, обусловленное уравнительными токами в параллельных ветвях, будет достаточно эффективным. Магнитная несимметрия особенно нежелательна в асинхронных двигателях, так как эти машины имеют малые воздушные зазоры. Однако большинство асинхронных двигателей имеет в роторе короткозамкнутую обмотку в виде беличьей клетки, а такая обмотка действует весьма эффективно в отношении выравнивания магнитной несимметрии.

Таблица 3-1

**Нормальные схемы и таблицы соединений двухфазных обмоток (с короткими междугрупповыми соединениями или соединениями „от верхнего к верхнему“), приведенные в данной главе**

| Число полюсов | 2 | 4 | 6 | 8 |
|---|---|---|---|---|
| № таблицы соединений | 3-6 | 3-7 | 3-8 | 3-9 |
| Соединение | № схемы соединений | | | |
| 1 ветвь | 3-10 | 3-13 | 3-18 | 3-24 |
| 2 ветви | 3-11 | 3-14 | 3-19 | 3-25 |
| 3 ветви | | | 3-20 | |
| 4 ветви | | 3-15 | | 3-26 |
| 6 ветвей | | | 3-21 | |
| 8 ветвей | | | | 3-27 |
| 1 и 2 ветви | 3-12 | 3-16 | 3-22 | 3-28 |
| 2 и 4 ветви | | 3-17 | | 3-29 |
| 3 и 6 ветвей | | | 3-23 | |
| 4 и 8 ветвей | | | | 3-30 |

Таблица 3-2

**Нормальные схемы и таблицы соединений трехфазных обмоток (с длинными междугрупповыми соединениями или соединениями „от верхнего к нижнему“), приведенные в данной главе**

| Число полюсов | 4 |
|---|---|
| Соединение | № схемы соединений |
| 1 Y | 3-31 |
| 2 Y | 3-32 |
| 1 и 2 Y | 3-33 |
| 1 △ | 3-34 |
| 2 △ | 3-35 |
| 1 и 2 △ | 3-36 |



Таблица 3-3

**Нормальные схемы и таблицы соединений трехфазных обмоток (с короткими междугрупповыми соединениями или соединениями „от верхнего к верхнему“), приведенные в данной главе**

| Число полюсов | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № таблицы соединений | 3-10 | 3-11 | 3-12 | 3-13 | 3-14 | 3-15 | 3-16 |
| Соединение | № схемы соединений | | | | | | |
| 1 Y | 3-37 | 3-43 | 3-53 | 3-65 | 3-79 | 3-91 | 3-111 |
| 2 Y | 3-38 | 3-44 | 3-54 | 3-66 | 3-80 | 3-92 | 3-112 |
| 3 Y | | | 3-55 | | | 3-93 | |
| 4 Y | | 3-45 | | 3-67 | | 3-94 | |
| 5 Y | | | | | 3-81 | | |
| 6 Y | | | 3-56 | | | 3-95 | |
| 7 Y | | | | | | | 3-113 |
| 8 Y | | | | 3-68 | | | |
| 10 Y | | | | | 3-82 | | |
| 12 Y | | | | | | 3-96 | |
| 14 Y | | | | | | | 3-114 |
| 1 и 2 Y | 3-39 | 3-46 | 3-57 | 3-69 | 3-83 | 3-97 | 3-115 |
| 2 и 4 Y | | 3-47 | | 3-70 | | 3-98 | |
| 3 и 6 Y | | | 3-58 | | | 3-99 | |
| 4 и 8 Y | | | | 3-71 | | | |
| 5 и 10 Y | | | | | 3-84 | | |
| 6 и 12 Y | | | | | | 3-100 | |
| 7 и 14 Y | | | | | | | 3-116 |
| 1 △ | 3-40 | 3-48 | 3-59 | 3-72 | 3-85 | 3-101 | 3-117 |
| 2 △ | 3-41 | 3-49 | 3-60 | 3-73 | 3-86 | 3-102 | 3-118 |
| 3 △ | | | 3-61 | | | 3-103 | |
| 4 △ | | 3-50 | | 3-74 | | 3-104 | |
| 5 △ | | | | | 3-87 | | |
| 6 △ | | | 3-62 | | | 3-105 | |
| 7 △ | | | | | | | 3-119 |
| 8 △ | | | | 3-75 | | | |
| 10 △ | | | | | 3-88 | | |
| 12 △ | | | | | | 3-106 | |
| 14 △ | | | | | | | 3-120 |
| 1 и 2 △ | 3-42 | 3-51 | 3-63 | 3-76 | 3-89 | 3-107 | 3-121 |
| 2 и 4 △ | | 3-52 | | 3-77 | | 3-108 | |
| 3 и 6 △ | | | 3-64 | | | 3-109 | |
| 4 и 8 △ | | | | 3-78 | | | |
| 5 и 10 △ | | | | | 3-90 | | |
| 6 и 12 △ | | | | | | 3-110 | |
| 7 и 14 △ | | | | | | | 3-122 |

Основная таблица 3-4

## Значения ППФ для двухфазных обмоток (для чисел полюсов 2—24 и чисел пазов 18—144)

| Число полюсов | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 | 44 | 48 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | | | | | |
| 18 | 4—1/2* | 2—1/4* | 1—1/2* | | | | | | | | | |
| 20 | 5 | 2—1/2* | 1—2/3 | 1—1/4* | | | | | | | | |
| 22 | 5—1/2* | 2—3/4* | 1—5/6* | 1—3/8* | 1—1/10 | | | | | | | |
| 24 | 6 | 3 | 2 | 1—1/2* | 1—1/5 | | | | | | | |
| 26 | 6—1/2* | 3—1/4* | 2—1/6* | 1—5/8* | 1—3/10* | 1—1/12* | | | | | | |
| 28 | 7 | 3—1/2* | 2—1/3 | 1—3/4* | 1—2/5 | 1—1/6* | | | | | | |
| 30 | 7—1/2* | 3—3/4* | 2—1/2* | 1—7/8* | 1—1/2* | 1—1/4* | 1—1/14* | | | | | |
| 32 | 8 | 4 | 2—2/3 | 2 | 1—3/5 | 1—1/3 | 1—1/7 | | | | | |
| 34 | | 4—1/4* | 2—5/6* | 2—1/8* | 1—7/10* | 1—5/12* | 1—3/14* | 1—1/16* | | | | |
| 36 | | 4—1/2* | 3 | 2—1/4* | 1—4/5 | 1—1/2* | 1—2/7 | 1—1/8* | | | | |
| 38 | | 4—3/4* | 3—1/6* | 2—3/8* | 1—9/10* | 1—7/12* | 1—5/14* | 1—3/16* | 1—1/18* | | | |
| 40 | | 5 | 3—1/3 | 2—1/2* | 2 | 1—2/3 | 1—3/7 | 1—1/4* | 1—1/9 | | | |
| 42 | | 5—1/4* | 3—1/2* | 2—5/8* | 2—1/10* | 1—3/4* | 1—1/2* | 1—5/16* | 1—1/6* | 1—1/20* | | |
| 44 | | 5—1/2* | 3—2/3* | 2—3/4* | 2—1/5 | 1—5/6* | 1—4/7 | 1—3/8* | 1—2/9 | 1—1/10* | | |
| 46 | | 5—3/4* | 3—5/6* | 2—7/8* | 2—3/10* | 1—11/12* | 1—9/14* | 1—7/16* | 1—5/18* | 1—3/20* | 1—1/22* | |
| 48 | | 6 | 4 | 3 | 2—2/5 | 2 | 1—5/7 | 1—1/2* | 1—1/3 | 1—1/5 | 1—1/11 | |
| 50 | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 52 | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 54 | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 56 | | | 4—2/3 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 2 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 58 | | | 4—5/16* | 3—5/8* | 2—9/10* | 2—5/12* | 2—1/14* | 1—13/16* | 1—11/18* | 1—9/20* | 1—7/22* | 1—5/24* |
| 60 | | | 5 | 3—3/4* | 3 | 2—1/2* | 2—1/7 | 1—7/8* | 1—2/3 | 1—1/2* | 1—4/11 | 1—1/4* |
| 62 | | | | 3—7/8* | 3—1/10* | 2—7/12* | 2—3/14* | 1—15/16* | 1—13/18* | 1—11/20* | 1—9/22* | 1—7/24* |
| 64 | | | | 4 | 3—1/5 | 2—2/3 | 2—2/7 | 2 | 1—7/9 | 1—3/5 | 1—5/11 | 1—1/3 |
| 66 | | | | 4—1/8* | 3—3/10* | 2—3/4* | 2—5/14* | 2—1/16* | 1—5/6* | 1—13/20* | 1—1/2* | 1—3/8* |
| 68 | | | | 4—1/4* | 3—2/5 | 2—5/6* | 2—3/7 | 2—1/8* | 1—8/9 | 1—7/10* | 1—6/11 | 1—5/12* |
| 70 | | | | 4—3/8* | 3—1/2* | 2—11/12* | 2—1/2* | 2—3/16* | 1—17/18* | 1—3/4* | 1—13/22* | 1—11/24* |
| 72 | | | | 4—1/2* | 3—3/5 | 3 | 2—4/7 | 2—1/4* | 2 | 1—4/5 | 1—7/11 | 1—1/2* |
| 74 | | | | 4—5/8* | 3—7/10* | 3—1/12* | 2—9/14* | 2—5/16* | 2—1/18* | 1—17/20* | 1—15/22* | 1—13/24* |
| 76 | | | | 4—3/4* | 3—4/5 | 3—1/6* | 2—5/7 | 2—3/8* | 2—1/9 | 1—9/10* | 1—8/11 | 1—7/12* |
| 78 | | | | | 3—9/10* | 3—1/4* | 2—11/14* | 2—7/16* | 2—1/6* | 1—19/20* | 1—17/22* | 1—5/8* |
| 80 | | | | | 4 | 3—1/3 | 2—6/7 | 2—1/2* | 2—2/9 | 2 | 1—9/11 | 1—2/3 |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3.

Значения ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5.

*Продолжение табл. 3-4*

| Число полюсов | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 | 44 | 48 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | | | | | |
| 82<br>84<br>86<br>88 | | | | | 4—1/10*<br>4—1/5<br>4—3/10*<br>4—2/5 | 3—5/12*<br>3—1/2*<br>3—7/12*<br>3—2/3 | 2—13/14*<br>3<br>3—1/14*<br>3—1/7 | 2—9/16*<br>2—5/8*<br>2—11/16*<br>2—3/4* | 2—5/18*<br>2—1/3<br>2—7/18*<br>2—4/9 | 2—1/20*<br>2—1/10*<br>2—3/20*<br>2—1/5 | 1—19/22*<br>1—10/11<br>1—21/22*<br>2 | 1—17/24*<br>1—3/4*<br>1—19/24*<br>1—5/6* |
| 90<br>92<br>94<br>96 | | | | | 4—1/2* | 3—3/4*<br>3—5/6*<br>3—11/12*<br>4 | 3—3/14*<br>3—2/7<br>3—5/14*<br>3—3/7 | 2—13/16*<br>2—7/8*<br>2—15/16*<br>3 | 2—1/2*<br>2—5/9<br>2—11/18*<br>2—2/3 | 2—1/4*<br>2—3/10*<br>2—7/20*<br>2—2/5 | 2—1/22*<br>2—1/11<br>2—3/22*<br>2—2/11 | 1—7/8*<br>1—11/12*<br>1—23/24*<br>2 |
| 98<br>100<br>102<br>104 | | | | | | 4—1/12*<br>4—1/6*<br>4—1/4*<br>4—1/3 | 3—1/2*<br>3—4/7<br>3—9/14*<br>3—5/7 | 3—1/16*<br>3—1/8*<br>3—3/16*<br>3—1/4* | 2—13/18*<br>2—7/9<br>2—5/6*<br>2—8/9 | 2—9/20*<br>2—1/2*<br>2—11/20*<br>2—3/5 | 2—5/22*<br>2—3/11<br>2—7/22*<br>2—4/11 | 2—1/24*<br>2—1/12*<br>2—1/8*<br>2—1/6* |
| 106<br>108<br>110<br>112 | | | | | | | 3—11/14*<br>3—6/7 | 3—5/16*<br>3—3/8*<br>3—7/16*<br>3—1/2* | 2—17/18*<br>3<br>3—1/18*<br>3—1/9 | 2—13/20*<br>2—7/10*<br>2—3/4*<br>2—4/5 | 2—9/22*<br>2—5/11<br>2—1/2*<br>2—6/11 | 2—5/24*<br>2—1/4*<br>2—7/24*<br>2—1/3 |
| 114<br>116<br>118<br>120 | | | | | | | | | [illegible]<br>3—1/3 | [illegible]<br>3 | [illegible]<br>2—8/11 | [illegible]<br>2—1/2* |
| 122<br>124<br>126<br>128 | | | | | | | | | | 3—1/20*<br>3—1/10*<br>3—3/20*<br>3—1/5 | 2—17/22*<br>2—9/11<br>2—19/22*<br>2—10/11 | 2—13/24*<br>2—7/12*<br>2—5/8*<br>2—2/3 |
| 130<br>132<br>134<br>136 | | | | | | | | | | | 2—21/22*<br>3<br>3—1/22*<br>3—1/11 | 2—17/24*<br>2—3/4*<br>2—19/24*<br>2—5/6* |
| 138<br>140<br>142<br>144 | | | | | | | | | | | | 2—7/8*<br>2—11/12*<br>2—23/24*<br>3 |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3.

Значения ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5.

Основная таблица 3-5

## Значения ППФ для трехфазных обмоток (для чисел полюсов 2—52 и чисел пазов 18—540)

| Число полюсов | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | | |
| 18 | 3 | 1—1/2 | | | | | | | |
| 21 | 3—1/2 | 1—3/4 | 1—1/6* | | | | | | |
| 24 | 4 | 2 | 1—1/3* | | | | | | |
| 27 | 4—1/2 | 2—1/4 | 1—1/2 | 1—1/8 | | | | | |
| 30 | 5 | 2—1/2 | 1—2/3* | 1—1/4 | | | | | |
| 33 | 5—1/2 | 2—3/4 | 1—5/6* | 1—3/8 | 1—1/10 | | | | |
| 36 | 6 | 3 | 2 | 1—1/2 | 1—1/5 | | | | |
| 39 | 6—1/2 | 3—1/4 | 2—1/6* | 1—5/8 | 1—3/10 | 1—1/12* | | | |
| 42 | 7 | 3—1/2 | 2—1/3* | 1—3/4 | 1—2/5 | 1—1/6* | | | |
| 45 | 7—1/2 | 3—3/4 | 2—1/2 | 1—7/8 | 1—1/2 | 1—1/4 | 1—1/14 | | |
| 48 | 8 | 4 | 2—2/3* | 2 | 1—3/5 | 1—1/3* | 1—1/7 | | |
| 51 | 8—1/2 | 4—1/4 | 2—5/6* | 2—1/8 | 1—7/10 | 1—5/12* | 1—3/14 | 1—1/16 | |
| 54 | 9 | 4—1/2 | 3 | 2—1/4 | 1—4/5 | 1—1/2 | 1—2/7 | 1—1/8 | |
| 57 | 9—1/2 | 4—3/4 | 3—1/6* | 2—3/8 | 1—9/10 | 1—7/12* | 1—5/14 | 1—3/16 | 1—1/18* |
| 60 | 10 | 5 | 3—1/3* | 2—1/2 | 2 | 1—2/3* | 1—3/7 | 1—1/4 | 1—1/9* |
| 63 | 10—1/2 | 5—1/4 | 3—1/2 | 2—5/8 | 2—1/10 | 1—3/4 | 1—1/2 | 1—5/16 | 1—1/6* |
| 66 | 11 | 5—1/2 | 3—2/3* | 2—3/4 | 2—1/5 | 1—5/6* | 1—4/7 | 1—3/8 | 1—2/9* |
| 69 | 11—1/2 | 5—3/4 | 3—5/6* | 2—7/8 | 2—3/10 | 1—11/12* | 1—9/14 | 1—7/16 | 1—5/18* |
| 72 | 12 | 6 | 4 | 3 | 2—2/5 | 2 | 1—5/7 | 1—1/2 | 1—1/3* |
| 75 | | 6—1/4 | 4—1/6* | 3—1/8 | 2—1/2 | 2—1/12* | 1—11/14 | 1—9/16 | 1—7/18* |
| 78 | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 81 | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 84 | | 7 | 4—2/3* | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 87 | | 7—1/4 | 4—5/6* | 3—5/8 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 90 | | 7—1/2 | 5 | 3—3/4 | 3 | 2—1/2 | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 93 | | 7—3/4 | 5—1/6* | 3—7/8 | 3—1/10 | 2—7/12* | 2—3/14 | 1—15/16 | 1—13/18* |
| 96 | | 8 | 5—1/3* | 4 | 3—1/5 | 2—2/3* | 2—2/7 | 2 | 1—7/9* |
| 99 | | | 5—1/2 | 4—1/8 | 3—3/10 | 2—3/4 | 2—5/14 | 2—1/16 | 1—5/6* |
| 102 | | | 5—2/3* | 4—1/4 | 3—2/5 | 2—5/6* | 2—3/7 | 2—1/8 | 1—8/9* |
| 105 | | | 5—5/6* | 4—3/8 | 3—1/2 | 2—11/12* | 2—1/2 | 2—3/16 | 1—17/18* |
| 108 | | | 6 | 4—1/2 | 3—3/5 | 3 | 2—4/7 | 2—1/4 | 2 |
| 111 | | | 6—1/6* | 4—5/8 | 3—7/10 | 3—1/12* | 2—9/14 | 2—5/16 | 2—1/18* |
| 114 | | | 6—1/3* | 4—3/4 | 3—4/5 | 3—1/6* | 2—5/7 | 2—3/8 | 2—1/9* |
| 117 | | | 6—1/2 | 4—7/8 | 3—9/10 | 3—1/4 | 2—11/14 | 2—7/16 | 2—1/6* |
| 120 | | | 6—2/3* | 5 | 4 | 3—1/3* | 2—6/7 | 2—1/2 | 2—2/9* |
| 123 | | | 6—5/6* | 5—1/8 | 4—1/10 | 3—5/12* | 2—13/14 | 2—9/16 | 2—5/18* |
| 126 | | | 7 | 5—1/4 | 4—1/5 | 3—1/2 | 3 | 2—5/8 | 2—1/3* |
| 129 | | | 7—1/6* | 5—3/8 | 4—3/10 | 3—7/12* | 3—1/14 | 2—11/16 | 2—7/18* |
| 132 | | | 7—1/3* | 5—1/2 | 4—2/5 | 3—2/3* | 3—1/7 | 2—3/4 | 2—4/9* |
| 135 | | | 7—1/2 | 5—5/8 | 4—1/2 | 3—3/4 | 3—3/14 | 2—13/16 | 2—1/2 |
| 138 | | | 7—2/3* | 5—3/4 | 4—3/5 | 3—5/6* | 3—2/7 | 2—7/8 | 2—5/9* |
| 141 | | | 7—5/6* | 5—7/8 | 4—7/10 | 3—11/12* | 3—5/14 | 2—15/16 | 2—11/18* |
| 144 | | | 8 | 6 | 4—4/5 | 4 | 3—3/7 | 3 | 2—2/3* |
| 147 | | | | 6—1/8 | 4—9/10 | 4—1/12* | 3—1/2 | 3—1/16 | 2—13/18* |
| 150 | | | | 6—1/4 | 5 | 4—1/6* | 3—4/7 | 3—1/8 | 2—7/9* |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3 и 6.

Значения ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4, 6 и 7.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5 и 8.

*Продолжение табл. 3-5*

| Число полюсов | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | | |
| 153<br>156<br>159<br>162<br>165 | | | | 6—3/8<br>6—1/2<br>6—5/8<br>6—3/4<br>6—7/8 | 5—1/10<br>5—1/5<br>5—3/10<br>5—2/5<br>5—1/2 | 4—1/4<br>4—1/3*<br>4—5/12*<br>4—1/2<br>4—7/12* | 3—9/14<br>3—5/7<br>3—11/14<br>3—6/7<br>3—13/14 | 3—3/16<br>3—1/4<br>3—5/16<br>3—3/8<br>3—7/16 | 2—5/6*<br>2—8/9*<br>2—17/18*<br>3<br>3—1/18* |
| 168<br>171<br>174<br>177<br>180 | | | | 7 | 5—3/5<br>5—7/10<br>5—4/5<br>5—9/10<br>6 | 4—2/3*<br>4—3/4<br>4—5/6*<br>4—11/12*<br>5 | 4<br>4—1/14<br>4—1/7<br>4—3/4<br>4—2/7 | 3—1/2<br>3—9/16<br>3—5/8<br>3—11/16<br>3—3/4 | 3—1/9*<br>3—1/6*<br>3—2/9*<br>3—5/18*<br>3—1/3* |
| 183<br>186<br>189<br>192<br>195 | | | | | 6—1/10<br>6—1/5<br>6—3/10<br>6—2/5<br>6—1/2 | 5—1/12*<br>5—1/6*<br>5—1/4<br>5—1/3*<br>5—5/12* | 4—5/14<br>4—3/7<br>4—1/2<br>4—4/7<br>4—9/14 | 3—13/16<br>3—7/8<br>3—15/16<br>4<br>4—1/16 | 3—7/18*<br>3—4/9*<br>3—1/2<br>3—5/9*<br>3—11/18* |
| 198<br>201 | | | | | | 5—1/2<br>5—7/12* | 4—5/7<br>4—11/14 | 4—1/8<br>4—3/16 | 3—2/3*<br>3—13/18* |
| 204<br>207<br>210 | | | | | | [illegible] | [illegible]<br>5 | [illegible] | [illegible] |
| 213<br>216<br>219<br>222<br>225 | | | | | | 5—11/12*<br>6 | 5—1/14<br>5—1/7<br>5—3/14<br>5—2/7<br>5—5/14 | 4—7/16<br>4—1/2<br>4—9/16<br>4—5/8<br>4—11/16 | 3—17/18*<br>4<br>4—1/18*<br>4—1/9*<br>4—1/6* |
| 228<br>231<br>234<br>237<br>240 | | | | | | | 5—3/7<br>5—1/2 | 4—3/4<br>4—13/16<br>4—7/8<br>4—15/16<br>5 | 4—2/9*<br>4—5/18*<br>4—1/3*<br>4—7/18*<br>4—4/9* |
| 243<br>246<br>249<br>252<br>255 | | | | | | | | | 4—1/2<br>4—5/9*<br>4—11/18*<br>4—2/3*<br>4—13/18* |
| 258<br>261<br>264<br>267<br>270 | | | | | | | | | 4—7/9*<br>4—5/6*<br>4—8/9*<br>4—17/18*<br>5 |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3 и 6.

Значения ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4, 6 и 7.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5 и 8.

Продолжение табл. 3-5

| Число полюсов | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 60 | 66 | 72 | 78 | 84 | 90 | 96 | 102 | 108 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | | |
| 63 | 1—1/20 | | | | | | | | |
| 66 | 1—1/10 | | | | | | | | |
| 69 | 1—3/20 | 1—1/22 | | | | | | | |
| 72 | 1—1/5 | 1—1/11 | | | | | | | |
| 75 | 1—1/4 | 1—3/22 | 1—1/24* | | | | | | |
| 78 | 1—3/10 | 1—2/11 | 1—1/12* | | | | | | |
| 81 | 1—7/20 | 1—5/22 | 1—1/8 | 1—1/26 | | | | | |
| 84 | 1—2/5 | 1—3/11 | 1—1/6* | 1—1/13 | | | | | |
| 87 | 1—9/20 | 1—7/22 | 1—5/24* | 1—3/26 | 1—1/28 | | | | |
| 90 | 1—1/2 | 1—4/11 | 1—1/4 | 1—2/13 | 1—1/14 | | | | |
| 93 | 1—11/20 | 1—9/22 | 1—7/24* | 1—5/26 | 1—3/28 | 1—1/30* | | | |
| 96 | 1—3/5 | 1—5/11 | 1—1/3* | 1—3/13 | 1—1/7 | 1—1/15* | | | |
| 99 | 1—13/20 | 1—1/2 | 1—3/8 | 1—7/26 | 1—5/28 | 1—1/10 | 1—1/32 | | |
| 102 | 1—7/10 | 1—6/11 | 1—5/12* | 1—4/13 | 1—3/14 | 1—2/15* | 1—1/16 | | |
| 105 | 1—3/4 | 1—13/22 | 1—11/24* | 1—9/26 | 1—1/4 | 1—1/6* | 1—3/32 | 1—1/34 | |
| 108 | 1—4/5 | 1—7/11 | 1—1/2 | 1—5/13 | 1—2/7 | 1—1/5 | 1—1/8 | 1—1/17 | |
| 111 | 1—17/20 | 1—15/22 | 1—13/24* | 1—11/26 | 1—9/28 | 1—7/30* | 1—5/32 | 1—3/34 | 1—1/36* |
| 114 | 1—9/10 | 1—8/11 | 1—7/12* | 1—6/13 | 1—5/14 | 1—4/15* | 1—3/16 | 1—2/17 | 1—1/18* |
| 117 | 1—19/20 | 1—17/22 | 1—5/8 | 1—1/2 | 1—11/28 | 1—3/10 | 1—7/32 | 1—5/34 | 1—1/12* |
| 120 | 2 | 1—9/11 | 1—2/3* | 1—7/13 | 1—3/7 | 1—1/3* | 1—1/4 | 1—3/17 | 1—1/9* |
| 123 | 2—1/20 | 1—19/22 | 1—17/24* | 1—15/26 | 1—13/28 | 1—11/30* | 1—9/32 | 1—7/34 | 1—5/36* |
| 126 | 2—1/10 | 1—10/11 | 1—3/4 | 1—8/13 | 1—1/2 | 1—2/5 | 1—5/16 | 1—4/17 | 1—1/6* |
| 129 | 2—3/20 | 1—21/22 | 1—19/24* | 1—17/26 | 1—15/28 | 1—13/30* | 1—11/32 | 1—9/34 | 1—7/36* |
| 132 | 2—1/5 | 2 | 1—5/6* | 1—9/13 | 1—4/7 | 1—7/15* | 1—3/8 | 1—5/17 | 1—2/9* |
| 135 | 2—1/4 | 2—1/22 | 1—7/8 | 1—19/26 | 1—17/28 | 1—1/2 | 1—13/32 | 1—11/34 | 1—1/4 |
| 138 | 2—3/10 | 2—1/11 | 1—11/12* | 1—10/13 | 1—9/14 | 1—8/15* | 1—7/16 | 1—6/17 | 1—5/18* |
| 141 | 2—7/20 | 2—3/22 | 1—23/24* | 1—21/26 | 1—19/28 | 1—17/30* | 1—15/32 | 1—13/34 | 1—11/36* |
| 144 | 2—2/5 | 2—2/11 | 2 | 1—11/13 | 1—5/7 | 1—3/5 | 1—1/2 | 1—7/17 | 1—1/3* |
| 147 | 2—9/20 | 2—5/22 | 2—1/24* | 1—23/26 | 1—21/28 | 1—19/30* | 1—17/32 | 1—15/34 | 1—13/36* |
| 150 | 2—1/2 | 2—3/11 | 2—1/12* | 1—12/13 | 1—11/14 | 1—2/3* | 1—9/16 | 1—8/17 | 1—7/18* |
| 153 | 2—11/20 | 2—7/22 | 2—1/8 | 1—25/26 | 1—23/28 | 1—7/10 | 1—19/32 | 1—1/2 | 1—5/12* |
| 156 | 2—3/5 | 2—4/11 | 2—1/6* | 2 | 1—6/7 | 1—11/15* | 1—5/8 | 1—9/17 | 1—4/9* |
| 159 | 2—13/20 | 2—9/22 | 2—5/24* | 2—1/26 | 1—25/28 | 1—23/30* | 1—21/32 | 1—19/34 | 1—17/36* |
| 162 | 2—7/10 | 2—5/11 | 2—1/4 | 2—1/13 | 1—13/14 | 1—4/5 | 1—11/16 | 1—10/17 | 1—1/2 |
| 165 | 2—3/4 | 2—1/2 | 2—7/24* | 2—3/26 | 1—27/28 | 1—5/6* | 1—23/32 | 1—21/34 | 1—19/36* |
| 168 | 2—4/5 | 2—6/11 | 2—1/3* | 2—2/13 | 2 | 1—13/15* | 1—3/4 | 1—11/17 | 1—5/9* |
| 171 | 2—17/20 | 2—13/22 | 2—3/8 | 2—5/26 | 2—1/28 | 1—9/10 | 1—25/32 | 1—23/34 | 1—7/12* |
| 174 | 2—9/10 | 2—7/11 | 2—5/12* | 2—3/13 | 2—1/14 | 1—14/15* | 1—13/16 | 1—12/17 | 1—11/18* |
| 177 | 2—19/20 | 2—15/22 | 2—11/24* | 2—7/26 | 2—3/28 | 1—29/30* | 1—27/32 | 1—25/34 | 1—23/36* |
| 180 | 3 | 2—8/11 | 2—1/2 | 2—4/13 | 2—1/7 | 2 | 1—7/8 | 1—13/17 | 1—2/3* |
| 183 | 3—1/20 | 2—17/22 | 2—13/24* | 2—9/26 | 2—5/28 | 2—1/30* | 1—29/32 | 1—27/34 | 1—25/36* |
| 186 | 3—1/10 | 2—9/11 | 2—7/12* | 2—5/13 | 2—3/14 | 2—1/15* | 1—15/16 | 1—14/17 | 1—13/18* |
| 189 | 3—3/20 | 2—19/22 | 2—5/8 | 2—11/26 | 2—1/4 | 2—1/10 | 1—31/32 | 1—29/34 | 1—3/4 |
| 192 | 3—1/5 | 2—10/11 | 2—2/3* | 2—6/13 | 2—2/7 | 2—2/15* | 2 | 1—15/17 | 1—7/9* |
| 195 | 3—1/4 | 2—21/22 | 2—17/24* | 2—1/2 | 2—9/28 | 2—1/6* | 2—1/32 | 1—31/34 | 1—29/36* |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3 и 6.

Значения ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4, 6 и 7.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5 и 8.

*Продолжение табл. 3-*

| Число полюсов | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 60 | 66 | 72 | 78 | 84 | 90 | 96 | 102 | 108 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | | |
| 198 | 3—3/10 | 3 | 2—3/4 | 2—7/13 | 2—5/14 | 2—1/5 | 2—1/16 | 1—16/17 | 1—5/6* |
| 201 | 3—7/20 | 3—1/22 | 2—19/24* | 2—15/26 | 2—11/28 | 2—7/30* | 2—3/32 | 1—33/34 | 1—31/36* |
| 204 | 3—2/5 | 3—1/11 | 2—5/6* | 2—8/13 | 2—3/7 | 2—4/15* | 2—1/8 | 2 | 1—8/9* |
| 207 | 3—9/20 | 3—3/22 | 2—7/8 | 2—17/26 | 2—13/28 | 2—3/10 | 2—5/32 | 2—1/34 | 1—11/12* |
| 210 | 3—1/2 | 3—2/11 | 2—11/12* | 2—9/13 | 2—1/2 | 2—1/3* | 2—3/16 | 2—1/17 | 1—17/18* |
| 213 | 3—11/20 | 3—5/22 | 2—23/24* | 2—19/26 | 2—15/28 | 2—11/30* | 2—7/32 | 2—3/34 | 1—35/36* |
| 216 | 3—3/5 | 3—3/11 | 3 | 2—10/13 | 2—4/7 | 2—2/5 | 2—1/4 | 2—2/17 | 2 |
| 219 | 3—13/20 | 3—7/22 | 3—1/24* | 2—21/26 | 2—17/28 | 2—13/30* | 2—9/32 | 2—5/34 | 2—1/36* |
| 222 | 3—7/10 | 3—4/11 | 3—1/12* | 2—11/13 | 2—9/14 | 2—7/15* | 2—5/16 | 2—3/17 | 2—1/18* |
| 225 | 3—3/4 | 3—9/22 | 3—1/8 | 2—23/26 | 2—19/28 | 2—1/2 | 2—11/32 | 2—7/34 | 2—1/12* |
| 228 | 3—4/5 | 3—5/11 | 3—1/6* | 2—12/13 | 2—5/7 | 2—8/15* | 2—3/8 | 2—4/17 | 2—1/9* |
| 231 | 3—17/20 | 3—1/2 | 3—5/24* | 2—25/26 | 2—21/28 | 2—17/30* | 2—13/32 | 2—9/34 | 2—5/36* |
| 234 | 3—9/10 | 3—6/11 | 3—1/4 | 3 | 2—11/14 | 2—3/5 | 2—7/16 | 2—5/17 | 2—1/6 |
| 237 | 3—19/20 | 3—13/22 | 3—7/24* | 3—1/26 | 2—23/28 | 2—19/30* | 2—15/32 | 2—11/34 | 2—7/36* |
| 240 | 4 | 3—7/11 | 3—1/3* | 3—1/13 | 2—6/7 | 2—2/3* | 2—1/2 | 2—6/17 | 2—2/9* |
| 243 | 4—1/20 | 3—15/22 | 3—3/8 | 3—3/26 | 2—25/28 | 2—7/10 | 2—17/32 | 2—13/34 | 2—1/4 |
| 246 | 4—1/10 | 3—8/11 | 3—5/12* | 3—2/13 | 2—13/14 | 2—11/15* | 2—9/16 | 2—7/17 | 2—5/18* |
| 249 | 4—3/20 | 3—17/22 | 3—11/24* | 3—5/26 | 2—27/28 | 2—23/30* | 2—19/32 | 2—15/34 | 2—11/36* |
| 252 | 4—1/5 | 3—9/11 | 3—1/2 | 3—3/13 | 3 | 2—4/5 | 2—5/8 | 2—8/17 | 2—1/3* |
| 255 | 4—1/4 | 3—19/22 | 3—13/24* | 3—7/26 | 3—1/28 | 2—5/6* | 2—21/32 | 2—1/2 | 2—13/36* |
| 258 | 4—3/10 | 3—10/11 | 3—7/12* | 3—4/13 | 3—1/14 | 2—13/15* | 2—11/16 | 2—9/17 | 2—7/18* |
| 261 | 4—7/20 | 3—21/22 | 3—5/8 | 3—9/26 | 3—3/28 | 2—9/10 | 2—23/32 | 2—19/34 | 2—5/12* |
| 264 | 4—2/5 | 4 | 3—2/3* | 3—5/13 | 3—1/7 | 2—14/15* | 2—3/4 | 2—10/17 | 2—4/9* |
| 267 | 4—9/20 | 4—1/22 | 3—17/24* | 3—11/26 | 3—5/28 | 2—29/30* | 2—25/32 | 2—21/34 | 2—17/36* |
| 270 | 4—1/2 | 4—1/11 | 3—3/4 | 3—6/13 | 3—3/14 | 3 | 2—13/16 | 2—11/17 | 2—1/2 |
| 273 | 4—11/20 | 4—3/22 | 3—19/24* | 3—1/2 | 3—1/4 | 3—1/30* | 2—27/32 | 2—23/34 | 2—19/36* |
| 276 | 4—3/5 | 4—2/11 | 3—5/6* | 3—7/13 | 3—2/7 | 3—1/15* | 2—7/8 | 2—12/17 | 2—5/9* |
| 279 | 4—13/20 | 4—5/22 | 3—7/8 | 3—15/26 | 3—9/28 | 3—1/10 | 2—29/32 | 2—25/34 | 2—7/12 |
| 282 | 4—7/10 | 4—3/11 | 3—11/12* | 3—8/13 | 3—5/14 | 3—2/15* | 2—15/16 | 2—13/17 | 2—11/18* |
| 285 | 4—3/4 | 4—7/22 | 3—23/24* | 3—17/26 | 3—11/28 | 3—1/6* | 2—31/32 | 2—27/34 | 2—23/36* |
| 288 | | 4—4/11 | 4 | 3—9/13 | 3—3/7 | 3—1/5 | 3 | 2—14/17 | 2—2/3* |
| 291 | | 4—9/22 | 4—1/24* | 3—19/26 | 3—13/28 | 3—7/30* | 3—1/32 | 2—29/34 | 2—25/36* |
| 294 | | 4—5/11 | 4—1/12* | 3—10/13 | 3—1/2 | 3—4/15* | 3—1/16 | 2—15/17 | 2—13/18* |
| 297 | | 4—1/2 | 4—1/8 | 3—21/26 | 3—15/28 | 3—3/10 | 3—3/32 | 2—31/34 | 2—3/4 |
| 300 | | | 4—1/6* | 3—11/13 | 3—4/7 | 3—1/3* | 3—1/8 | 2—16/17 | 2—7/9* |
| 303 | | | 4—5/24* | 3—23/26 | 3—17/28 | 3—11/30* | 3—5/32 | 2—33/34 | 2—29/36* |
| 306 | | | 4—1/4 | 3—12/13 | 3—9/14 | 3—2/5 | 3—3/16 | 3 | 2—5/6* |
| 309 | | | 4—7/24* | 3—25/26 | 3—19/28 | 3—13/30* | 3—7/32 | 3—1/34 | 2—31/36* |
| 312 | | | 4—1/3* | 4 | 3—5/7 | 3—7/15* | 3—1/4 | 3—1/17 | 2—8/9 |
| 315 | | | 4—3/8 | 4—1/26 | 3—21/28 | 3—1/2 | 3—9/32 | 3—3/34 | 2—11/12* |
| 318 | | | 4—5/12* | 4—1/13 | 3—11/14 | 3—8/15* | 3—5/16 | 3—2/17 | 2—17/18* |
| 321 | | | 4—11/24* | 4—3/26 | 3—23/28 | 3—17/30* | 3—11/32 | 3—5/34 | 2—35/36* |
| 324 | | | 4—1/2 | 4—2/13 | 3—6/7 | 3—3/5 | 3—3/8 | 3—3/17 | 3 |
| 327 | | | | 4—5/26 | 3—25/28 | 3—19/30* | 3—13/32 | 3—7/34 | 3—1/36* |
| 330 | | | | 4—3/13 | 3—13/14 | 3—2/3* | 3—7/16 | 3—4/17 | 3—1/18* |
| 333 | | | | 4—7/26 | 3—27/28 | 3—7/10 | 3—15/32 | 3—9/34 | 3—1/12* |
| 336 | | | | 4—4/13 | 4 | 3—11/15* | 3—1/2 | 3—5/17 | 3—1/9* |
| 339 | | | | 4—9/26 | 4—1/28 | 3—23/30* | 3—17/32 | 3—11/34 | 3—5/36* |
| 342 | | | | 4—5/13 | 4—1/14 | 3—4/5 | 3—9/16 | 3—6/17 | 3—1/6* |
| 345 | | | | 4—11/26 | 4—3/28 | 3—5/6* | 3—19/32 | 3—13/34 | 3—7/36* |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3 и 6.

Значения ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4 и 7.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5 и 8.

*Продолжение табл. 3-5*

| Число полюсов | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 60 | 66 | 72 | 78 | 84 | 90 | 96 | 102 | 108 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | | |
| 348<br>351<br>354<br>357<br>360 | | | | 4—6/13<br>4—1/2 | 4—1/7<br>4—5/28<br>4—3/14<br>4—1/4<br>4—2/7 | *3—13/15**<br>3—9/10<br>*3—14/15**<br>*3—29/30**<br>4 | 3—5/8<br>3—21/32<br>3—11/16<br>3—23/32<br>3—3/4 | 3—7/17<br>3—15/24<br>3—8/17<br>3—1/2<br>3—9/17 | *3—2/9**<br>3—1/4<br>*3—5/18**<br>*3—11/36**<br>*3—1/3** |
| 363<br>366<br>369<br>372<br>375 | | | | | 4—9/28<br>4—5/14<br>4—11/28<br>4—3/7<br>4—13/28 | *4—1/30**<br>*4—1/15**<br>4—1/10<br>*4—2/15**<br>*4—1/6** | 3—25/32<br>3—13/16<br>3—27/32<br>3—7/8<br>3—29/32 | 3—19/34<br>3—10/17<br>3—21/34<br>3—11/17<br>3—23/34 | *3—13/36**<br>*3—7/18**<br>*3—5/12**<br>*3—4/9**<br>*3—17/36** |
| 378<br>381<br>384<br>387<br>390 | | | | | 4—1/2 | 4—1/5<br>*4—7/30**<br>*4—4/15**<br>4—3/10<br>*4—1/3** | 3—15/16<br>3—31/32<br>4<br>4—1/32<br>4—1/16 | 3—12/17<br>3—25/34<br>3—13/17<br>3—27/34<br>3—14/17 | 3—1/2<br>*3—19/36**<br>*3—5/9**<br>*3—7/12**<br>*3—11/18** |
| 393<br>396<br>399<br>402<br>405 | | | | | | *4—11/30**<br>4—2/5<br>*4—13/30**<br>*4—7/15**<br>4—1/2 | 4—3/32<br>4—1/8<br>4—5/32<br>4—3/16<br>4—7/32 | 3—29/34<br>3—15/17<br>3—31/34<br>3—16/17<br>3—33/34 | *3—23/36**<br>*3—2/3**<br>*3—25/36**<br>*3—13/18**<br>3—3/4 |
| 408<br>411 | | | | | | | 4—1/4<br>4—9/32 | 4<br>4—1/34 | *3—7/9**<br>*3—29/36** |
| 414<br>417<br>420 | | | | | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 423<br>426<br>429<br>432<br>435 | | | | | | | 4—13/32<br>4—7/16<br>4—15/32<br>4—1/2 | 4—5/34<br>4—3/17<br>4—7/34<br>4—4/17<br>4—9/34 | *3—11/12**<br>*3—17/18**<br>*3—35/36**<br>4<br>*4—1/36** |
| 438<br>441<br>444<br>447<br>450 | | | | | | | | 4—5/17<br>4—11/34<br>4—6/17<br>4—13/34<br>4—7/17 | *4—1/18**<br>*4—1/12**<br>*4—1/9**<br>*4—5/36**<br>*4—1/6** |
| 453<br>456<br>459<br>462<br>465 | | | | | | | | 4—15/34<br>4—8/17<br>4—1/2 | *4—7/36**<br>*4—2/9**<br>4—1/4<br>*4—5/18**<br>*4—11/36** |
| 468<br>471<br>474<br>477<br>480 | | | | | | | | | *4—1/3**<br>*4—13/36**<br>*4—7/18**<br>*4—5/12**<br>*4—4/9** |
| 483<br>486 | | | | | | | | | *4—17/36**<br>4—1/2 |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3 и 6.

Значения ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4, 6 и 7.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5 и 8.

Продолжение табл. 3-5

| Число полюсов | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 114 | 120 | 126 | 132 | 138 | 144 | 150 | 156 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | |
| 117<br>120 | 1—1/38<br>1—1/19 | | | | | | | |
| 123<br>126<br>129<br>132<br>135 | 1—3/38<br>1—2/19<br>1—5/38<br>1—3/19<br>1—7/38 | 1—1/40<br>1—1/20<br>1—3/40<br>1—1/10<br>1—1/8 | 1—1/42*<br>1—1/21*<br>1—1/14 | 1—1/44 | | | | |
| 138<br>141<br>144<br>147<br>150 | 1—4/19<br>1—9/38<br>1—5/19<br>1—11/38<br>1—6/19 | 1—3/20<br>1—7/40<br>1—1/5<br>1—9/40<br>1—1/4 | 1—2/21*<br>1—5/42*<br>1—1/7<br>1—1/6*<br>1—4/21* | 1—1/22<br>1—3/44<br>1—1/11<br>1—5/44<br>1—3/22 | 1—1/46<br>1—1/23<br>1—3/46<br>1—2/23 | 1—1/48*<br>1—1/24* | | |
| 153<br>156<br>159<br>162<br>165 | 1—13/38<br>1—7/19<br>1—15/38<br>1—8/19<br>1—17/38 | 1—11/40<br>1—3/10<br>1—13/40<br>1—7/20<br>1—3/8 | 1—3/14<br>1—5/21*<br>1—11/42*<br>1—2/7<br>1—13/42* | 1—7/44<br>1—2/11<br>1—9/44<br>1—5/22<br>1—1/4 | 1—5/46<br>1—3/23<br>1—7/46<br>1—4/23<br>1—9/46 | 1—1/16<br>1—1/12*<br>1—5/48*<br>1—1/8<br>1—7/48* | 1—1/50<br>1—1/25<br>1—3/50<br>1—2/25<br>1—1/10 | 1—1/52<br>1—1/26<br>1—3/52 |
| 168<br>171<br>174 | 1—9/19<br>1—1/2<br>1—10/19 | 1—2/5<br>1—17/40<br>1—9/20 | 1—1/3*<br>1—5/14<br>1—8/21* | 1—3/11<br>1—13/44<br>1—7/22 | 1—5/23<br>1—11/46<br>1—6/23 | 1—1/6*<br>1—3/16<br>1—5/24* | 1—3/25<br>1—7/50<br>1—4/25 | 1—1/13<br>1—5/52<br>1—3/26 |
| 177<br>180 | 1—21/38<br>1—11/19 | 1—19/40<br>[illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 183<br>186<br>189<br>192<br>195 | 1—23/38<br>1—12/19<br>1—25/38<br>1—13/19<br>1—27/38 | 1—21/40<br>1—11/20<br>1—23/40<br>1—3/5<br>1—5/8 | 1—19/42*<br>1—10/21*<br>1—1/2<br>1—11/21*<br>1—23/42* | 1—17/44<br>1—9/22<br>1—19/44<br>1—5/11<br>1—21/44 | 1—15/46<br>1—8/23<br>1—17/46<br>1—9/23<br>1—19/46 | 1—13/48*<br>1—7/24*<br>1—5/16<br>1—1/3*<br>1—17/48* | 1—11/50<br>1—6/25<br>1—13/50<br>1—7/25<br>1—3/10 | 1—9/52<br>1—5/26<br>1—11/52<br>1—3/13<br>1—1/4 |
| 198<br>201<br>204<br>207<br>210 | 1—14/19<br>1—29/38<br>1—15/19<br>1—31/38<br>1—16/19 | 1—13/20<br>1—27/40<br>1—7/10<br>1—29/40<br>1—3/4 | 1—4/7<br>1—25/42*<br>1—13/21*<br>1—9/14<br>1—2/3* | 1—1/2<br>1—23/44<br>1—6/11<br>1—25/44<br>1—13/22 | 1—10/23<br>1—21/46<br>1—11/23<br>1—23/46<br>1—12/23 | 1—3/8<br>1—19/48*<br>1—5/12*<br>1—7/16<br>1—11/24* | 1—8/25<br>1—17/50<br>1—9/25<br>1—19/50<br>1—2/5 | 1—7/26<br>1—15/52<br>1—4/13<br>1—17/52<br>1—9/26 |
| 213<br>216<br>219<br>222<br>225 | 1—33/38<br>1—17/19<br>1—35/38<br>1—18/19<br>1—37/38 | 1—31/40<br>1—4/5<br>1—33/40<br>1—17/20<br>1—7/8 | 1—29/42*<br>1—5/7<br>1—31/42*<br>1—16/24*<br>1—11/14 | 1—27/44<br>1—7/11<br>1—29/44<br>1—15/22<br>1—31/44 | 1—25/46<br>1—13/23<br>1—27/46<br>1—14/23<br>1—29/46 | 1—23/48*<br>1—1/2<br>1—25/48*<br>1—13/24*<br>1—9/16 | 1—21/50<br>1—11/25<br>1—23/50<br>1—12/25<br>1—1/2 | 1—19/52<br>1—5/13<br>1—21/52<br>1—11/26<br>1—23/52 |
| 228<br>231<br>234<br>237<br>240 | 2<br>2—1/38<br>2—1/19<br>2—3/38<br>2—2/19 | 1—9/10<br>1—37/40<br>1—19/20<br>1—39/40<br>2 | 1—17/21*<br>1—5/6*<br>1—6/7<br>1—37/42*<br>1—19/21* | 1—8/11<br>1—3/4<br>1—17/22<br>1—35/44<br>1—9/11 | 1—15/23<br>1—31/46<br>1—16/23<br>1—33/46<br>1—17/23 | 1—7/12*<br>1—29/48*<br>1—5/8<br>1—31/48*<br>1—2/3* | 1—13/25<br>1—27/50<br>1—14/25<br>1—29/50<br>1—3/5* | 1—6/13<br>1—5/52<br>1—1/2<br>1—27/52<br>1—7/13 |
| 243<br>246 | 2—5/38<br>2—3/19 | 2—1/40<br>2—1/20 | 1—13/14<br>1—20/21* | 1—37/44<br>1—19/22 | 1—35/46<br>1—18/23 | 1—11/16<br>1—17/24* | 1—31/50<br>1—16/25 | 1—29/52<br>1—15/26 |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3 и 6.

Значения ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4, 6 и 7.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5 и 8.

| Число полюсов | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 114 | 120 | 126 | 132 | 138 | 144 | 150 | 156 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | |
| 249<br>252<br>255 | 2—7/38<br>2—4/19<br>2—9/38 | 2—3/40<br>2—1/10<br>2—1/8 | *1—41/42**<br>2<br>*2—1/42** | 1—39/44<br>1—10/11<br>1—41/44 | 1—37/46<br>1—19/23<br>1—39/46 | *1—35/48**<br>1—3/4<br>*1—37/48** | 1—33/50<br>1—17/25<br>1—7/10 | 1—31/52<br>1—8/13<br>1—33/52 |
| 258<br>261<br>264<br>267<br>270 | 2—5/19<br>2—11/38<br>2—6/19<br>2—13/38<br>2—7/19 | 2—3/20<br>2—7/40<br>2—1/5<br>2—9/40<br>2—1/4 | *2—1/21**<br>2—1/14<br>*2—2/21**<br>*2—5/42**<br>2—1/7 | 1—21/22<br>1—43/44<br>2<br>2—1/44<br>2—1/22 | 1—20/23<br>1—41/46<br>1—21/23<br>1—43/46<br>1—22/23 | *1—19/24**<br>1—13/16<br>*1—5/6**<br>*1—41/48**<br>1—7/8 | 1—18/25<br>1—37/50<br>1—19/25<br>1—39/50<br>1—4/5 | 1—17/26<br>1—35/52<br>1—9/13<br>1—37/52<br>1—19/26 |
| 273<br>276<br>279<br>282<br>285 | 2—15/38<br>2—8/19<br>2—17/38<br>2—9/19<br>2—1/2 | 2—11/40<br>2—3/10<br>2—13/40<br>2—7/20<br>2—3/8 | 2—1/6<br>*2—4/21**<br>2—3/14<br>*2—5/21**<br>*2—11/42** | 2—3/44<br>2—1/11<br>2—5/44<br>2—3/22<br>2—7/44 | 1—45/46<br>2<br>2—1/46<br>2—1/23<br>2—3/46 | *1—43/48**<br>*1—11/12**<br>1—15/16<br>*1—23/24**<br>*1—47/48** | 1—41/50<br>1—21/25<br>1—43/50<br>1—22/25<br>1—9/10 | 1—3/4<br>1—10/13<br>1—41/52<br>1—21/26<br>1—43/52 |
| 288<br>291<br>294<br>297<br>300 | 2—10/19<br>2—21/38<br>2—11/19<br>2—23/38<br>2—12/19 | 2—2/5<br>2—17/40<br>2—9/20<br>2—19/40<br>2—1/2 | 2—2/7<br>*2—13/42**<br>*2—1/3**<br>2—5/14<br>*2—8/21** | 2—2/11<br>2—9/44<br>2—5/22<br>2—1/4<br>2—3/11 | 2—2/23<br>2—5/46<br>2—3/23<br>2—7/46<br>2—4/23 | 2<br>*2—1/48**<br>*2—1/24**<br>2—1/16<br>*2—1/12** | 1—23/25<br>1—47/50<br>1—24/25<br>1—49/50<br>2 | 1—11/13<br>1—45/52<br>1—23/26<br>1—47/52<br>1—12/13 |
| 303<br>306<br>309<br>312<br>315 | 2—25/38<br>2—13/19<br>2—27/38<br>2—14/19<br>2—29/38 | 2—21/40<br>2—11/20<br>2—23/40<br>2—3/5<br>2—5/8 | *2—17/42**<br>2—3/7<br>*2—19/42**<br>*2—10/21**<br>2—1/2 | 2—13/44<br>2—7/22<br>2—15/44<br>2—4/11<br>2—17/44 | 2—9/46<br>2—5/23<br>2—11/46<br>2—6/23<br>2—13/46 | *2—5/48**<br>2—1/8<br>*2—7/48**<br>*2—1/6**<br>2—3/16 | 2—1/50<br>2—1/25<br>2—3/50<br>2—2/25<br>1—1/10 | 1—49/52<br>1—25/26<br>1—51/52<br>2<br>2—1/52 |
| 318<br>321<br>324<br>327<br>330 | 2—15/19<br>2—31/38<br>2—16/19<br>2—33/38<br>2—17/19 | [illegible]<br>[illegible]<br>2—7/10<br>2—29/40<br>2—3/4 | [illegible]<br>[illegible]<br>[illegible]<br>*2—25/42**<br>*2—13/21** | [illegible]<br>[illegible]<br>2—5/11<br>2—21/44<br>2—1/2 | [illegible]<br>2—15/46<br>2—8/23<br>2—17/46<br>2—9/23 | [illegible]<br>[illegible]<br>[illegible]<br>*2—13/48**<br>*2—7/24** | [illegible]<br>2—7/50<br>2—4/25<br>2—9/50<br>2—1/5 | [illegible]<br>2—3/52<br>2—1/13<br>2—5/52<br>2—3/26 |
| 333<br>336<br>339<br>342<br>345 | 2—35/38<br>2—18/19<br>2—37/38<br>3<br>3—1/38 | 2—31/40<br>2—4/5<br>2—33/40<br>2—17/20<br>2—7/8 | 2—9/14<br>*2—2/3**<br>*2—29/42**<br>2—5/7<br>*2—31/42** | 2—23/44<br>2—6/11<br>2—25/44<br>2—13/22<br>2—27/44 | 2—19/46<br>2—10/23<br>2—21/46<br>2—11/23<br>2—1/2 | 2—5/16<br>*2—1/3**<br>*2—17/48**<br>2—3/8<br>*2—19/48** | 2—11/50<br>2—6/25<br>2—13/50<br>2—7/25<br>2—3/10 | 2—7/52<br>2—2/13<br>2—9/52<br>2—5/26<br>2—11/52 |
| 348<br>351<br>354<br>357<br>360 | 3—1/19<br>3—3/38<br>3—2/19<br>3—5/38<br>3—3/19 | 2—9/10<br>2—37/40<br>2—19/20<br>2—39/40<br>3 | *2—16/21**<br>2—11/14<br>*2—17/21**<br>*2—5/6**<br>2—6/7 | 2—7/11<br>2—29/44<br>2—15/22<br>2—31/44<br>2—8/11 | 2—12/23<br>2—25/46<br>2—13/23<br>2—27/46<br>2—14/23 | *2—5/12**<br>2—7/16<br>*2—11/24**<br>*2—23/48**<br>2—1/2 | 2—8/25<br>2—17/50<br>2—9/25<br>2—19/50<br>2—2/5 | 2—3/13<br>2—1/4<br>2—7/26<br>2—15/52<br>2—4/13 |
| 363<br>366<br>369<br>372<br>375 | 3—7/38<br>3—4/19<br>3—9/38<br>3—5/19<br>2—11/38 | 3—1/40<br>3—1/20<br>3—3/40<br>3—1/10<br>3—1/8 | *2—37/42**<br>*2—19/21**<br>2—13/14<br>*2—20/21**<br>*2—41/42** | 2—3/4<br>2—17/22<br>2—35/44<br>2—9/11<br>2—37/44 | 2—29/46<br>2—15/23<br>2—31/46<br>2—16/23<br>2—33/46 | *2—25/48**<br>*2—13/24**<br>2—9/16<br>*2—7/12**<br>*2—29/48** | 2—21/50<br>2—11/25<br>2—23/50<br>2—12/25<br>2—1/2 | 2—17/52<br>2—9/26<br>2—19/52<br>2—5/13<br>2—21/52 |
| 378<br>381<br>384<br>387<br>390 | 3—6/19<br>3—13/38<br>3—7/19<br>3—15/38<br>3—8/19 | 3—3/20<br>3—7/40<br>3—1/5<br>3—9/40<br>3—1/4 | 3<br>*3—1/42**<br>*3—1/21**<br>3—1/14<br>*3—2/21** | 2—19/22<br>2—39/44<br>2—10/11<br>2—41/44<br>2—21/22 | 2—17/23<br>2—35/46<br>2—18/23<br>2—37/46<br>2—19/23 | 2—5/8<br>*2—31/48**<br>*2—2/3**<br>2—11/16<br>*2—17/24** | 2—13/25<br>2—27/50<br>2—14/25<br>2—29/50<br>2—3/5 | 2—11/26<br>2—23/52<br>2—6/13<br>2—25/52<br>2—13/26 |
| 393<br>396 | 3—17/38<br>3—9/19 | 3—11/40<br>3—3/10 | *3—5/42**<br>3—1/7 | 2—43/44<br>3 | 2—39/46<br>2—20/23 | *2—35/48**<br>2—3/4 | 2—31/50<br>2—16/25 | 2—27/52<br>2—7/13 |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3 и 6.

Значения ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4, 6 и 7.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5 и 8.

*Продолжение табл. 3-5*

| Число полюсов | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 114 | 120 | 126 | 132 | 138 | 144 | 150 | 156 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | |
| 399<br>402<br>405 | 3—1/2<br>3—10/19<br>3—21/38 | 3—13/40<br>3—7/20<br>3—3/8 | *3—1/6**<br>*3—4/21**<br>3—3/14 | 3—1/44<br>3—1/22<br>3—3/44 | 2—41/46<br>2—21/23<br>2—43/46 | *2—37/48**<br>*2—19/24**<br>2—13/16 | 2—33/50<br>2—17/25<br>2—7/10 | 2—29/52<br>2—15/26<br>2—31/52 |
| 408<br>411<br>414<br>417<br>420 | 3—11/19<br>3—23/38<br>3—12/19<br>3—25/38<br>3—13/19 | 3—2/5<br>3—17/40<br>3—9/20<br>3—19/40<br>3—1/2 | *3—5/21**<br>*3—11/42**<br>3—2/7<br>*3—13/42**<br>*3—1/3** | 3—1/11<br>3—5/44<br>3—3/22<br>3—7/44<br>3—2/11 | 2—22/23<br>2—45/46<br>3<br>3—1/46<br>3—1/23 | *2—5/6**<br>*2—41/48**<br>2—7/8<br>*2—43/48**<br>*2—11/12** | 2—18/25<br>2—37/50<br>2—19/25<br>2—39/50<br>2—4/5 | 2—8/13<br>2—33/52<br>2—17/26<br>2—35/52<br>2—9/13 |
| 423<br>426<br>429<br>432<br>435 | 3—27/38<br>3—14/19<br>3—29/38<br>3—5/19<br>3—31/38 | 3—21/40<br>3—11/20<br>3—23/40<br>3—3/5<br>3—5/8 | 3—5/14<br>*3—8/21**<br>*3—17/42**<br>3—3/7<br>*3—19/42** | 3—9/44<br>3—5/22<br>3—1/4<br>3—3/11<br>3—13/44 | 3—3/46<br>3—2/23<br>3—5/46<br>3—3/23<br>3—7/46 | 2—15/16<br>*2—23/24**<br>*2—47/48**<br>3<br>*3—1/48** | 2—41/50<br>2—21/25<br>2—43/50<br>2—22/25<br>2—9/10 | 2—37/52<br>2—19/26<br>2—3/4<br>2—10/13<br>2—41/52 |
| 438<br>441<br>444<br>447<br>450 | 3—16/19<br>3—33/38<br>3—17/19<br>3—35/38<br>3—18/19 | 3—13/20<br>3—27/40<br>3—7/10<br>3—29/40<br>3—3/4 | *3—10/21**<br>3—1/2<br>*3—11/21**<br>*3—23/42**<br>3—4/7 | 3—7/22<br>3—15/44<br>3—4/11<br>3—17/44<br>3—9/22 | 3—4/23<br>3—9/46<br>3—5/23<br>3—11/46<br>3—6/23 | *3—1/24**<br>3—1/16<br>*3—1/12**<br>*3—5/48**<br>3—1/8 | 2—23/25<br>2—47/50<br>2—24/25<br>2—49/50<br>3 | 2—21/26<br>2—43/52<br>2—11/13<br>2—45/52<br>2—23/26 |
| 453<br>456<br>459<br>462<br>465 | 3—37/38<br>4<br>4—1/38<br>4—1/19<br>4—3/38 | 3—31/40<br>3—4/5<br>3—33/40<br>3—17/20<br>3—7/8 | *3—25/42**<br>*3—13/21**<br>3—9/14<br>*3—2/3**<br>*3—29/42** | 3—19/44<br>3—5/11<br>3—21/44<br>3—1/2<br>3—23/44 | 3—13/46<br>3—7/23<br>3—15/46<br>3—8/23<br>3—17/46 | *3—7/48**<br>*3—1/6**<br>3—3/16<br>*3—5/24**<br>*3—11/48** | 3—1/50<br>3—1/25<br>3—3/50<br>3—2/25<br>3—1/10 | 2—47/52<br>2—12/13<br>2—49/52<br>2—25/26<br>2—51/52 |
| 468<br>471<br>474<br>477<br>480 | 4—2/19<br>4—5/38<br>4—3/19<br>4—[illegible]<br>4—4/19 | 3—9/10<br>3—37/40<br>3—[illegible]<br>3—3[illegible]/40<br>4 | 3—5/7<br>*3—31/42**<br>*3—[illegible]**<br>3—[illegible]<br>*3—17/21** | 3—6/11<br>3—[illegible]<br>3—[illegible]<br>[illegible]<br>3—7/11 | 3—9/23<br>3—[illegible]/46<br>3—[illegible]/23<br>3—[illegible]<br>3—11/23 | 3—1/4<br>*3—13/[illegible]**<br>*3—7/24**<br>3—[illegible]/16<br>*3—1/3** | 3—3/25<br>3—7/50<br>3—4/25<br>3—[illegible]/50<br>3—1/5 | 3<br>3—1/52<br>3—1/26<br>3—3/52<br>3—1/13 |
| 483<br>486<br>489<br>492<br>495 | 4—9/38<br>4—5/19<br>4—11/38<br>4—6/19<br>4—13/38 | 4—1/40<br>4—1/20<br>4—3/40<br>4—1/10<br>4—1/8 | *3—5/6**<br>3—6/7<br>*3—37/42**<br>*3—19/21**<br>3—13/14 | 3—29/44<br>3—15/22<br>3—31/44<br>3—8/11<br>3—3/4 | 3—23/46<br>3—12/23<br>3—25/46<br>3—13/23<br>3—27/46 | *3—17/48**<br>3—3/8<br>*3—19/48**<br>*3—5/12**<br>3—7/16 | 3—11/50<br>3—6/25<br>3—13/50<br>3—7/25<br>3—3/10 | 3—5/52<br>3—3/26<br>3—7/52<br>3—2/13<br>3—9/52 |
| 498<br>501<br>504<br>507<br>510 | 4—7/19<br>4—15/38<br>4—8/19<br>4—17/38<br>4—9/19 | 4—3/20<br>4—7/40<br>4—1/5<br>4—9/40<br>4—1/4 | *3—20/21**<br>*3—41/42**<br>4<br>*4—1/42**<br>*4—1/21** | 3—17/22<br>3—35/44<br>3—9/11<br>3—37/44<br>3—19/22 | 3—14/23<br>3—29/46<br>3—15/23<br>3—31/46<br>3—16/23 | *3—11/24**<br>*3—23/48**<br>3—1/2<br>*3—25/48**<br>*3—13/24** | 3—8/25<br>3—17/50<br>3—9/25<br>3—19/50<br>3—2/5 | 3—5/26<br>3—11/52<br>3—3/13<br>3—1/4<br>3—7/26 |
| 513<br>516<br>519<br>522<br>525 | 4—1/2 | 4—11/40<br>4—3/10<br>4—13/40<br>4—7/20<br>4—3/8 | 4—1/14<br>*4—2/21**<br>*4—5/42**<br>4—1/7<br>*4—1/6** | 3—39/44<br>3—10/11<br>3—41/44<br>3—21/22<br>3—43/44 | 3—33/46<br>3—17/23<br>3—35/46<br>3—18/23<br>3—37/46 | 3—9/16<br>*3—7/12**<br>*3—29/48**<br>3—5/8<br>*3—31/48** | 3—21/50<br>3—11/25<br>3—23/50<br>3—12/25<br>3—1/2 | 3—15/52<br>3—4/13<br>3—7/52<br>3—9/26<br>3—19/52 |
| 528<br>531<br>534<br>537<br>540 | | 4—2/5<br>4—17/40<br>4—9/20<br>4—19/40<br>4—1/2 | *4—4/21**<br>4—3/14<br>*4—5/21**<br>*4—11/42**<br>4—2/7 | 4<br>4—1/44<br>4—1/22<br>4—3/44<br>4—1/11 | 3—19/23<br>3—39/46<br>3—20/23<br>3—41/46<br>3—21/23 | *3—2/3**<br>3—11/16<br>*3—17/24**<br>*3—35/48**<br>3—3/4 | 3—13/25<br>3—27/50<br>3—14/25<br>3—29/50<br>3—3/5 | 3—5/13<br>3—21/52<br>3—11/26<br>3—23/52<br>3—6/13 |

Значения ППФ, напечатанные жирным шрифтом, относятся к обмоткам с целым ППФ, рассмотренным в гл. 3 и 6.

Значение ППФ, напечатанные нормальным шрифтом, относятся к симметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 4 6 и 7.

Значения ППФ, напечатанные курсивом со звездочкой, относятся к несимметричным обмоткам с дробным ППФ, рассмотренным в гл. 5 и 8.

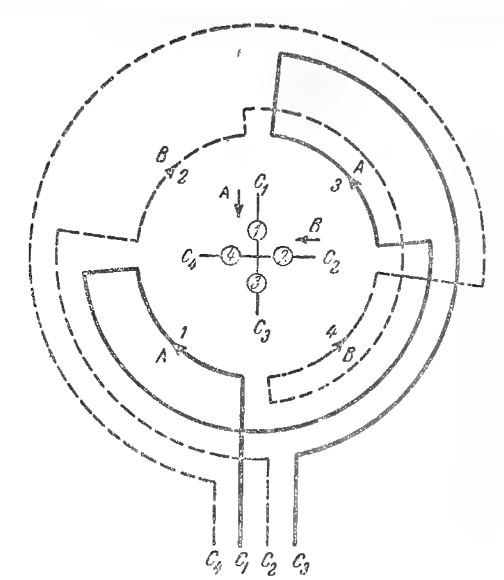



Рис. 3-10. Схема соединений для 2 полюсов, 2 фаз при последовательном соединении групп („в—в").

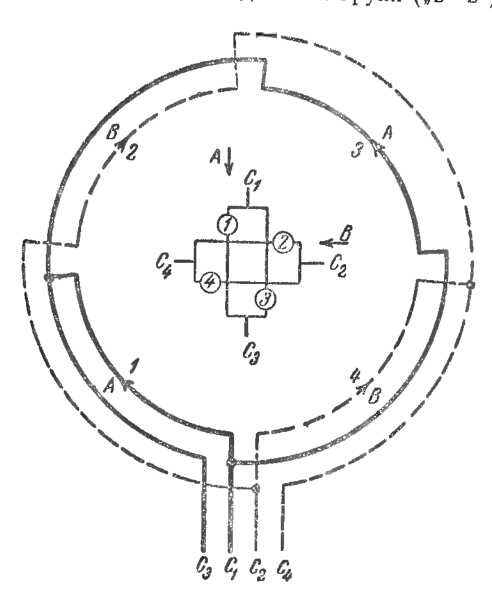



Рис. 3-11. Схема соединений для 2 полюсов, 2 фаз, 2 паралллельных ветвей.



Таблица 3-6

**Таблица соединений для 2 полюсов и 2 фаз**
(см. схемы соединений на рис. 3-10 и 3-11)

| Фаза | Соединения | | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | $Н_1\ К_1 \to К_3\ Н_3$ | $С_1 \to Н_1 \quad С_3 \to Н_3$ |
| А | В 2 параллельные ветви | $Н_1\ К_1 \parallel К_3\ Н_3$ | $С_1 \to Н_1 \to К_3 \quad С_3 \to К_1 \to Н_3$ |
| В | Последовательное | $Н_2\ К_2 \to К_4\ Н_4$ | $С_2 \to Н_2 \quad С_4 \to Н_4$ |
| В | В 2 параллельные ветви | $Н_2\ К_2 \parallel К_4\ Н_4$ | $С_2 \to Н_2 \to К_4 \quad С_4 \to К_2 \to Н_4$ |

Н — начало группы.
К — конец группы.
→ соединить с началом или концом группы.
|| изменить по сравнению с последовательным соединением.

Таблица 3-7

**Таблица соединений для 4 полюсов и 2 фаз („в—в")**
(см. схемы соединений на рис. 3-13 — 3-15)

| Фаза | Соединения | | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | $Н_1\ К_1 \to К_3\ Н_3 \to Н_5$ $К_5 \to К_7\ Н_7$ | $С_1 \to Н_1 \quad С_3 \to Н_7$ |
| А | В 2 параллельные ветви | $Н_1\ К_1 \to К_3\ Н_3 \parallel Н_5$ $К_5 \to К_7\ Н_7$ | $С_1 \to Н_1 \to Н_5$ $С_3 \to Н_3 \to Н_7$ |
| А | В 4 параллельные ветви | $Н_1\ К_1 \parallel К_3\ Н_3 \parallel Н_5$ $К_5 \parallel К_7\ Н_7$ | $С_1 \to Н_1 \to К_3 \to Н_5 \to К_7$ $С_3 \to К_1 \to Н_3 \to К_5 \to Н_7$ |
| В | Последовательное | $Н_2\ К_2 \to К_4\ Н_4 \to Н_6$ $К_6 \to К_8\ Н_8$ | $С_2 \to Н_2 \quad С_4 \to Н_8$ |
| В | В 2 параллельные ветви | $Н_2\ К_2 \to К_4\ Н_4 \parallel Н_6$ $К_6 \to К_8\ Н_8$ | $С_2 \to Н_2 \to Н_6$ $С_4 \to Н_4 \to Н_8$ |
| В | В 4 параллельные ветви | $Н_2\ К_2 \parallel К_4\ Н_4 \parallel Н_6$ $К_6 \parallel К_8\ Н_8$ | $С_2 \to Н_2 \to К_4 \to Н_6 \to К_8$ $С_4 \to К_2 \to Н_4 \to К_6 \to Н_8$ |

Н — начало группы.
К — конец группы.
→ соединить с началом или концом группы.
|| изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в" — „от верхнего к верхнему" или короткое междугрупповое соединение.

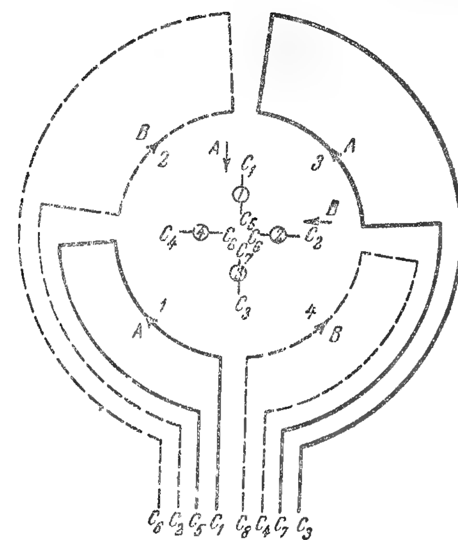


Рис. 3-12. Схема соединений для 2 полюсов, 2 фаз с 8 выводами (для соединения последовательного или в 2 параллельные ветви).

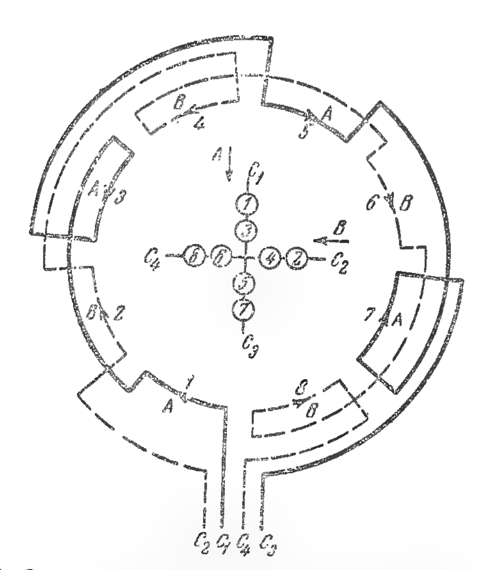


Рис. 3-13. Схема соединений для 4 полюсов, 2 фаз („в—в").



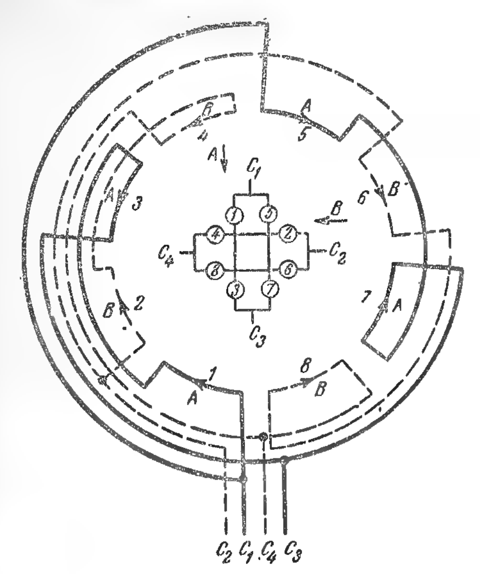


Рис. 3-14. Схема соединений для 4 полюсов, 2 фаз, 2 параллельных ветвей.

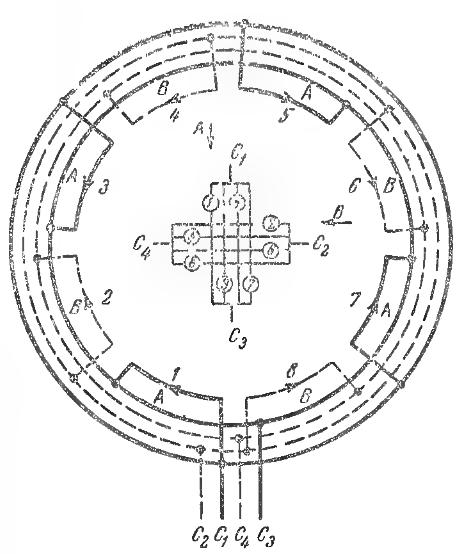


Рис. 3-15. Схема соединений для 4 полюсов, 2 фаз, 4 параллельных ветвей.

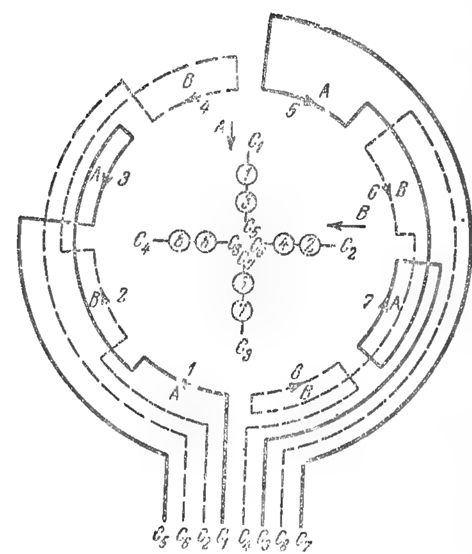


Рис. 3-16. Схема соединений для 4 полюсов, 2 фаз с 8 выводами (для соединения последовательного или в 2 параллельные ветви).

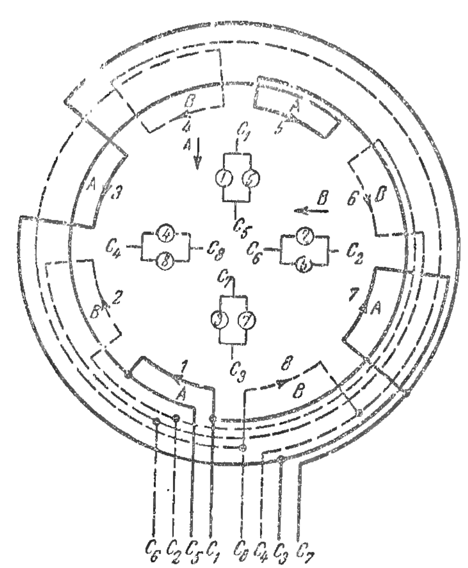


Рис. 3-17. Схема соединений для 4 полюсов, 2 фаз в 2 или 4 параллельные ветви с 8 выводами.



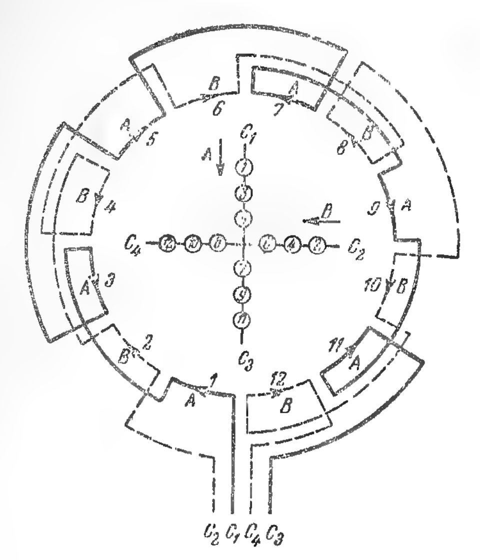


Рис. 3-18. Схема соединений для 6 полюсов, 2 фаз при последовательном соединении групп („в—в").

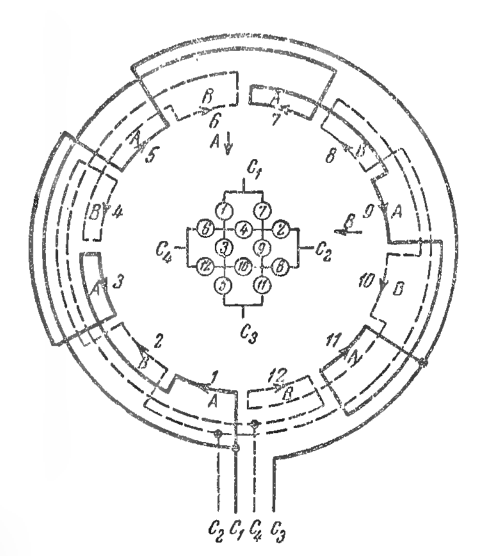


Рис. 3-19. Схема соединений для 6 полюсов, 2 фаз, 2 параллельных ветвей.

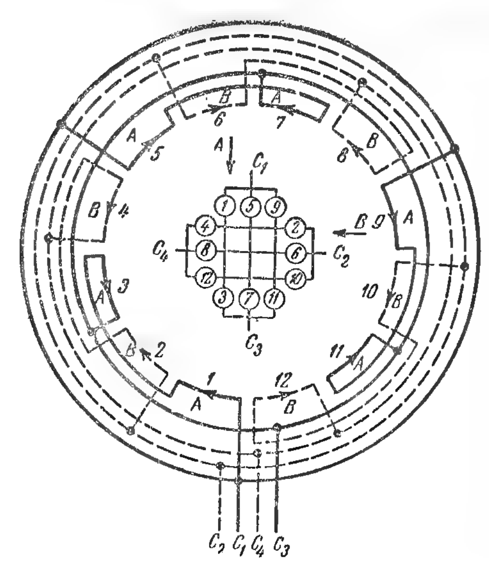



Рис. 3-20. Схема соединений для 6 полюсов, 2 фаз, 3 параллельных ветвей.

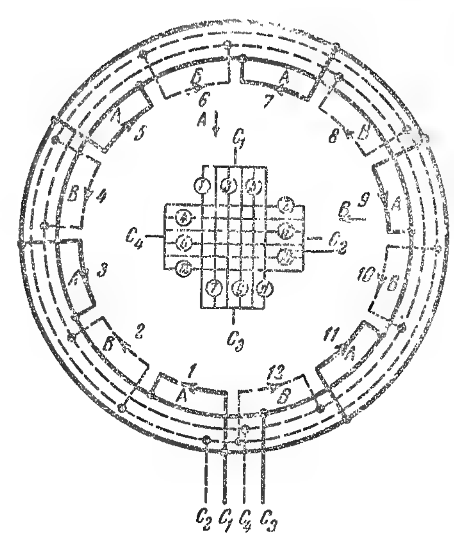



Рис. 3-21. Схема соединений для 6 полюсов, 2 фаз, 6 параллельных ветвей.



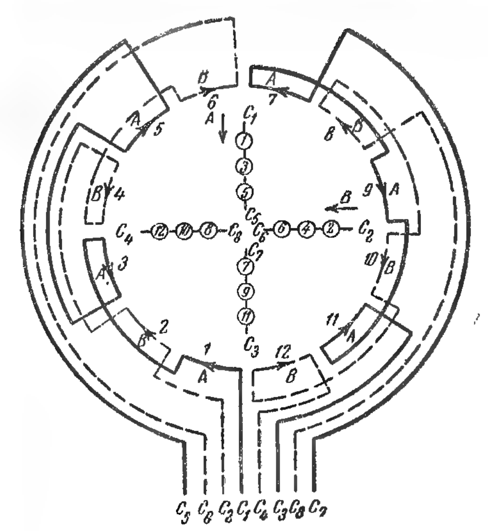



Рис. 3-22. Схема соединений для 6 полюсов, 2 фаз с 8 выводами (для соединения последовательного или в 2 параллельные ветви).

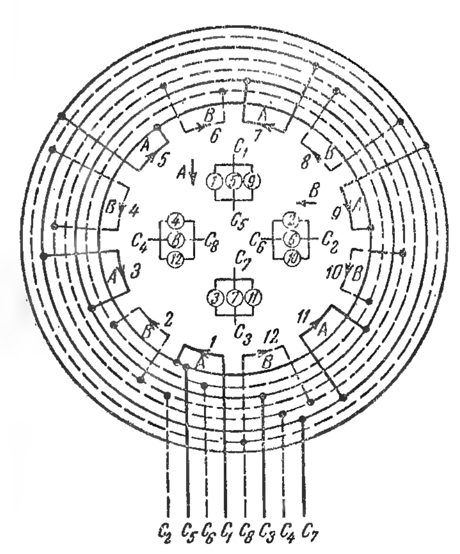



Рис. 3-23. Схема соединений для 6 полюсов, 2 фаз в 3 или 6 параллельных ветвей с 8 выводами.

Таблица 3-8

**Таблица соединений для 6 полюсов и 2 фаз („в—в")**
(см. схемы соединений на рис. 3-18 — 3-21)

| Фаза | | Соединения | Выводы | |
|---|---|---|---|---|
| А | Последовательное | $Н_1\ К_1 \to К_3\ Н_3 \to Н_5\ К_5 \to К_7\ Н_7 \to Н_9\ К_9 \to К_{11}\ Н_{11}$ | $С_1 \to Н_1$ | $С_3 \to Н_{11}$ |
| | В 2 параллельные ветви | $Н_1\ К_1 \to К_3\ Н_3 \to Н_5\ К_5 \parallel К_7\ Н_7 \to Н_9\ К_9 \to К_{11}\ Н_{11}$ | $С_1 \to Н_1 \to К_7$ | $С_3 \to К_5 \to Н_{11}$ |
| | В 3 параллельные ветви | $Н_1\ К_1 \to К_3\ Н_3 \parallel Н_5\ К_5 \to К_7\ Н_7 \parallel Н_9\ К_9 \to К_{11}\ Н_{11}$ | $С_1 \to Н_1 \to Н_5 \to Н_9$ | $С_3 \to Н_3 \to Н_7 \to Н_{11}$ |
| | В 6 параллельных ветвей | $Н_1\ К_1 \parallel К_3\ Н_3 \parallel Н_5\ К_5 \parallel К_7\ Н_7 \parallel Н_9\ К_9 \parallel К_{11}\ Н_{11}$ | $С_1 \to Н_1 \to К_3 \to Н_5 \to К_7 \to Н_9 \to Н_{11}$<br>$С_3 \to К_1 \to Н_3 \to К_5 \to Н_7 \to К_9 \to Н_{11}$ | |
| В | Последовательное | $Н_2\ К_2 \to К_4\ Н_4 \to Н_6\ К_6 \to К_8\ Н_8 \to Н_{10}\ К_{10} \to К_{12}\ Н_{12}$ | $С_2 \to Н_2$ | $С_4 \to Н_{12}$ |
| | В 2 параллельные ветви | $Н_2\ К_2 \to К_4\ Н_4 \to Н_6\ К_6 \parallel К_8\ Н_8 \to Н_{10}\ К_{10} \to К_{12}\ Н_{12}$ | $С_2 \to Н_2 \to К_8$ | $С_4 \to К_6 \to Н_{12}$ |
| | В 3 параллельные ветви | $Н_2\ К_2 \to К_4\ Н_4 \parallel Н_6\ К_6 \to К_8\ Н_8 \parallel Н_{10}\ К_{10} \to К_{12}\ Н_{12}$ | $С_2 \to Н_2 \to Н_6 \to Н_{10}$ | $С_4 \to Н_4 \to Н_8 \to Н_{12}$ |
| | В 6 параллельных ветвей | $Н_2\ К_2 \parallel К_4\ Н_4 \parallel Н_6\ К_6 \parallel К_8\ Н_8 \parallel Н_{10}\ К_{10} \parallel К_{12}\ Н_{12}$ | $С_2 \to Н_2 \to К_4 \to Н_6 \to К_8 \to Н_{10} \to К_{12}$<br>$С_4 \to К_2 \to Н_4 \to К_6 \to Н_8 \to К_{10} \to Н_{12}$ | |

Н — начало группы.
К — конец группы.
→ соединить с началом или концом группы.
‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в" — „от верхнего к верхнему" или короткое междугрупповое соединение.





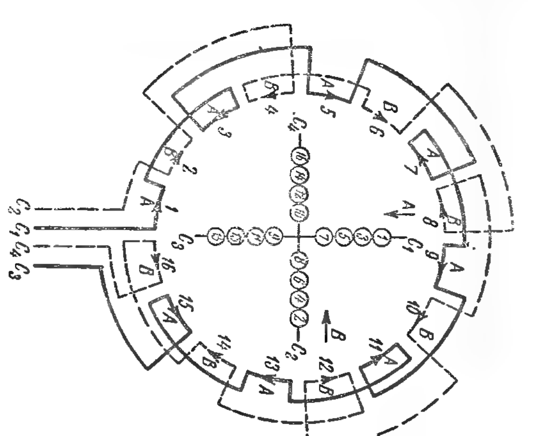



Рис. 3-24. Схема соединений для 8 полюсов, 2 фаз при последовательном соединении групп („в—в").

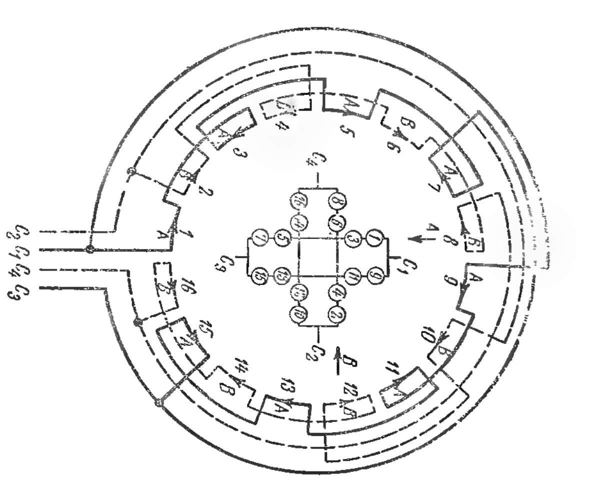



Рис. 3-25. Схема соединений для 8 полюсов, 2 фаз в 2 параллельные ветви.

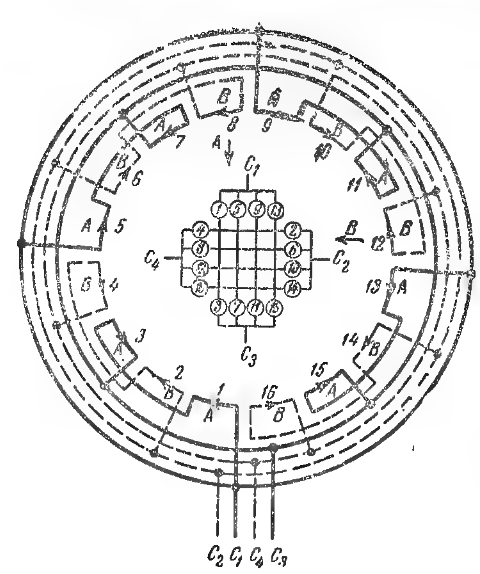



Рис. 3-26. Схема соединений для 8 полюсов, 2 фаз в 4 параллельные ветви.

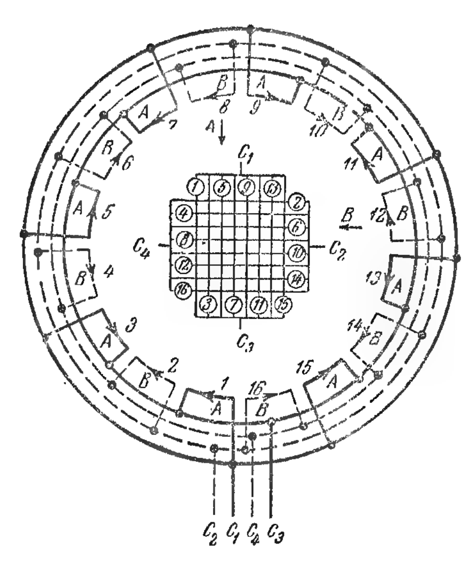



Рис. 3-27. Схема соединений для 8 полюсов, 2 фаз в 8 параллельных ветвей.



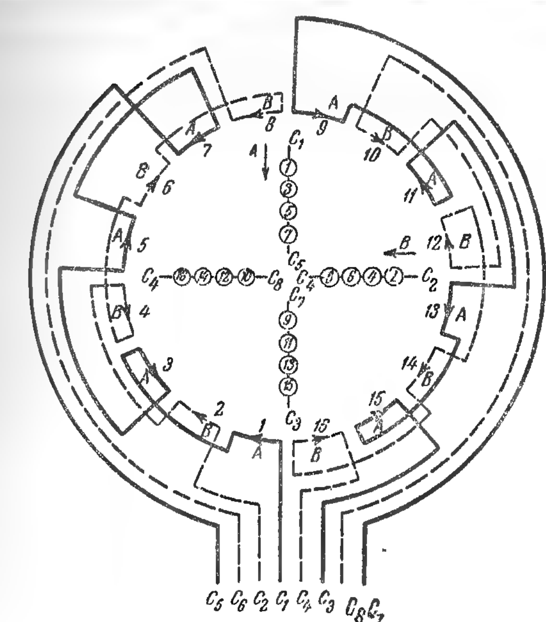



Рис. 3-28. Схема соединений для 8 полюсов, 2 фаз с 8 выводами (для соединения последовательного или в 2 параллельные ветви).

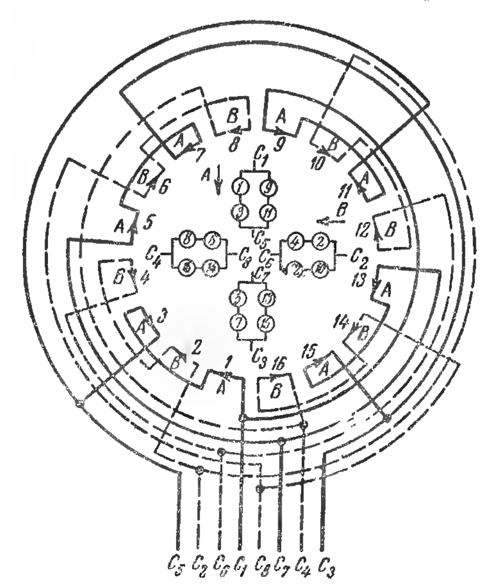



Рис. 3-29. Схема соединений для 8 полюсов, 2 фаз в 2 или 4 параллельные ветви с 8 выводами.

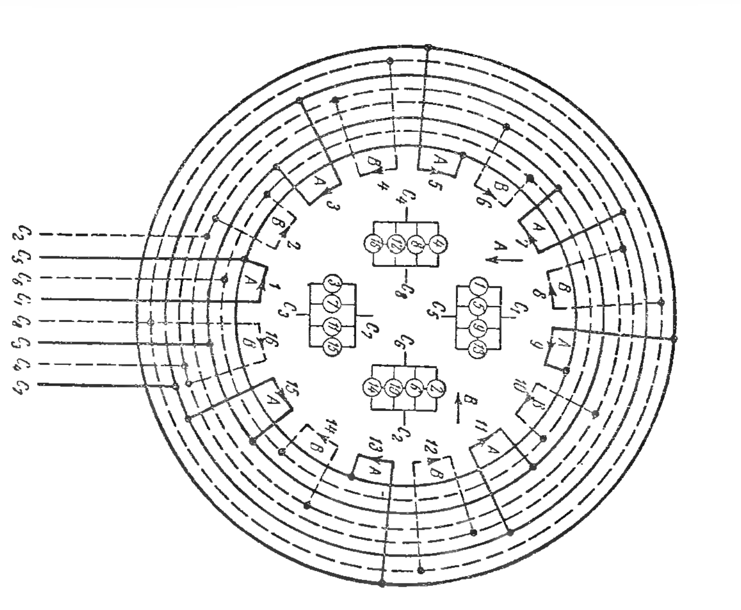



Рис. 3-30. Схема соединений для 8 полюсов, 2 фаз в 4 или 8 параллельных ветвей с 8 выводами.



**Таблица соединений для 8 полюсов и 2 фаз ...**
(см. схемы соединений на рис. 3-24—3-27)

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | Н$_1$ К$_1$→К$_3$ Н$_3$→Н$_5$ К$_5$→К$_7$ Н$_7$→Н$_9$ К$_9$→К$_{11}$ Н$_{11}$→Н$_{13}$ К$_{13}$→К$_{15}$ Н$_{15}$ | С$_1$→Н$_1$ С$_3$→Н$_{15}$ |
| | В 2 параллельные ветви | Н$_1$ К$_1$→К$_3$ Н$_3$→Н$_5$ К$_5$→К$_7$ Н$_7$ ‖ Н$_9$ К$_9$→К$_{11}$ Н$_{11}$→Н$_{13}$ К$_{13}$→К$_{15}$ Н$_{15}$ | С$_1$→Н$_1$→Н$_9$ С$_3$→Н$_7$→Н$_{15}$ |
| | В 4 параллельные ветви | Н$_1$ К$_1$→К$_3$ Н$_3$ ‖ Н$_5$ К$_5$→К$_7$ Н$_7$ ‖ Н$_9$ К$_9$→К$_{11}$ Н$_{11}$ ‖ Н$_{13}$ К$_{13}$→К$_{15}$ Н$_{15}$ | С$_1$→Н$_1$→Н$_5$→Н$_9$→Н$_{13}$<br>С$_3$→Н$_3$→Н$_7$→Н$_{11}$→Н$_{15}$ |
| | В 8 параллельных ветвей | Н$_1$ К$_1$ ‖ К$_3$ Н$_3$ ‖ Н$_5$ К$_5$ ‖ К$_7$ Н$_7$ ‖ Н$_9$ К$_9$ ‖ К$_{11}$ Н$_{11}$ ‖ Н$_{13}$ К$_{13}$ ‖ К$_{15}$ Н$_{15}$ | С$_1$→Н$_1$→К$_3$→Н$_5$→К$_7$→Н$_9$→К$_{11}$→Н$_{13}$→<br>→К$_{15}$<br>С$_3$→К$_1$→Н$_3$→К$_5$→Н$_7$→К$_9$→Н$_{11}$→К$_{13}$→<br>→Н$_{15}$ |
| В | Последовательное | Н$_2$ К$_2$→К$_4$ Н$_4$→Н$_3$ К$_6$→К$_8$ Н$_3$→Н$_{10}$ К$_{10}$→К$_{12}$ Н$_{12}$→Н$_{14}$ К$_{14}$→К$_{16}$ Н$_{16}$ | С$_2$→Н$_2$ С$_4$→Н$_{16}$ |
| | В 2 параллельные ветви | Н$_2$ К$_2$→К$_4$ Н$_4$→Н$_3$ К$_6$→К$_8$ Н$_3$ ‖ Н$_{10}$ К$_{10}$→К$_{12}$ Н$_{12}$→Н$_{14}$ К$_{14}$→К$_{16}$ Н$_{16}$ | С$_2$→Н$_2$→Н$_{10}$ С$_4$→Н$_8$→Н$_{16}$ |
| | В 4 параллельные ветви | Н$_2$ К$_2$→К$_4$ Н$_4$ ‖ Н$_3$ К$_6$→К$_8$ Н$_3$ ‖ Н$_{10}$ К$_{10}$→К$_{12}$ Н$_{12}$ ‖ Н$_{14}$ К$_{14}$→К$_{16}$ Н$_{16}$ | С$_2$→Н$_2$→Н$_6$→Н$_{10}$→Н$_{14}$<br>С$_4$→Н$_4$→Н$_8$→Н$_{12}$→Н$_{16}$ |
| | В 8 параллельных ветвей | Н$_2$ К$_2$ ‖ К$_4$ Н$_4$ ‖ Н$_6$ К$_6$ ‖ К$_8$ Н$_3$ ‖ Н$_{10}$ К$_{10}$ ‖ К$_{12}$ Н$_{12}$ ‖ Н$_{14}$ К$_{14}$ ‖ К$_{16}$ Н$_{16}$ | С$_2$→Н$_2$→К$_4$→Н$_6$→К$_8$→Н$_{10}$→К$_{12}$→<br>→Н$_{14}$→К$_{16}$<br>С$_4$→К$_2$→Н$_4$→К$_6$→Н$_8$→К$_{10}$→Н$_{12}$→<br>→К$_{14}$→Н$_{16}$ |

Н—начало группы.
К—конец группы.
→соединить с началом или концом группы.
‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в"—„от верхнего к верхнему" или короткое междугрупповое соединение.

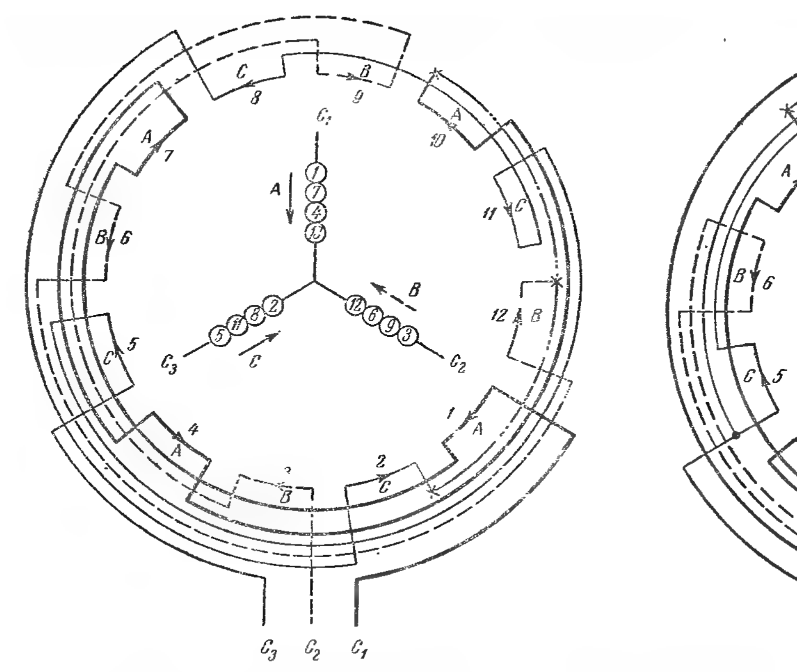



Рис. 3-31. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в звезду при последовательном соединении групп („в—н“).

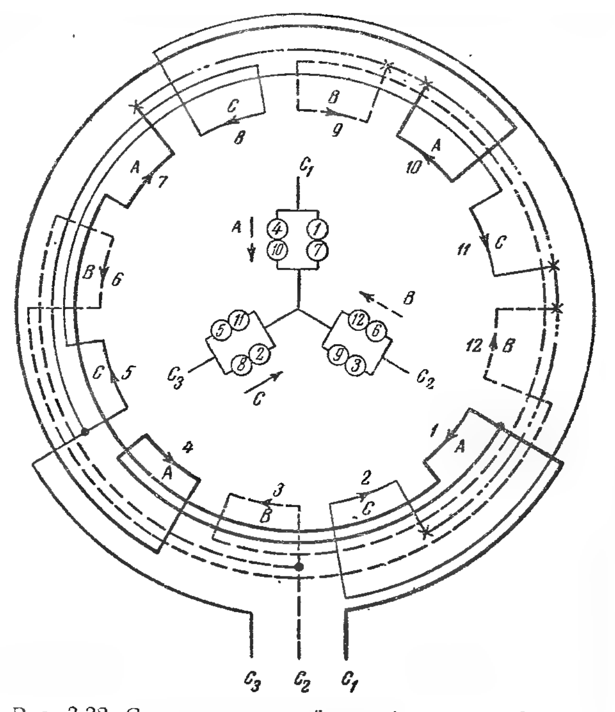



Рис. 3-32. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в 2 параллельные звезды („в—н“).

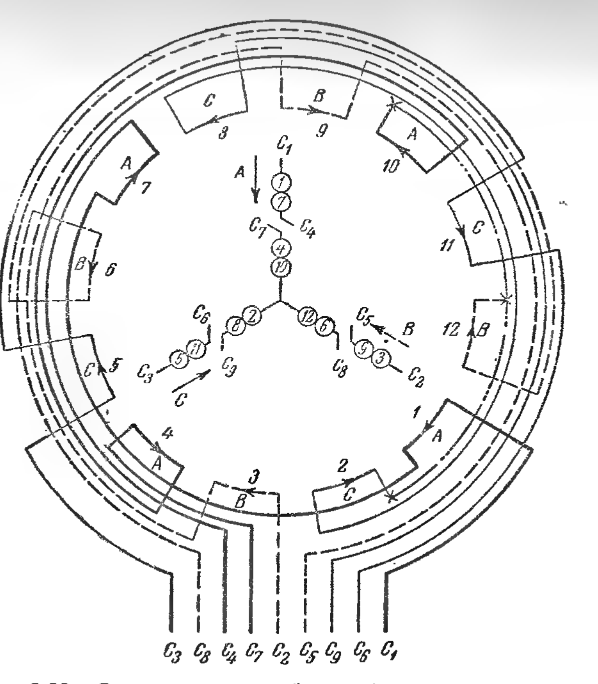



Рис. 3-33. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в звезду с 9 выводами (для соединения последовательного или в 2 параллельные звезды; „в—н“).

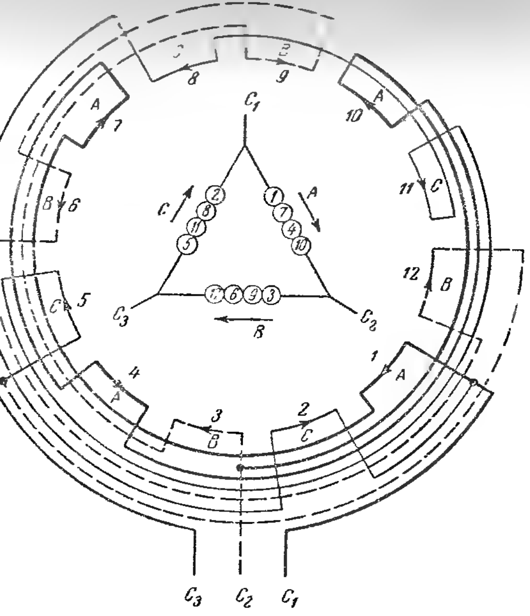



Рис. 3-34. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в треугольник при последовательном соединении групп („в—н“).

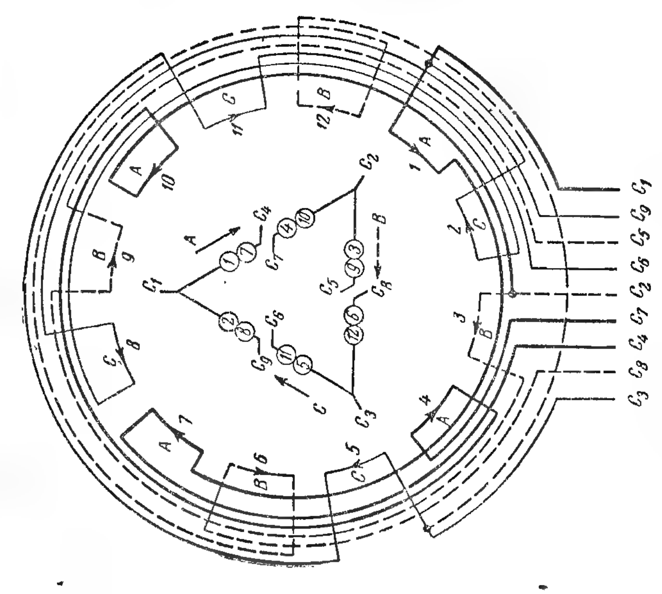


Рис. 3-36. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в треугольник с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельных треугольника („в—н“)].

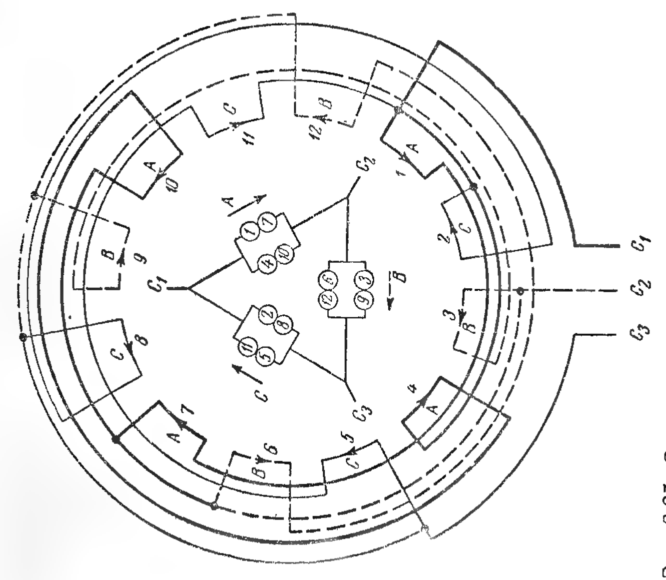


Рис. 3-35. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в 2 параллельных треугольника („в—н“).



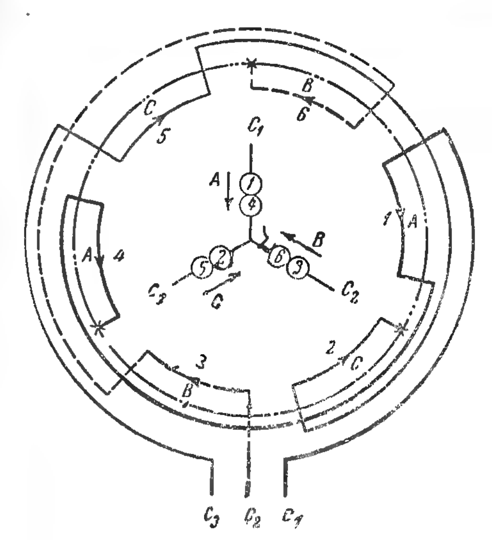


Рис. 3-37. Схема соединений для 2 полюсов, 3 фаз в звезду при последовательном соединении групп („в—в„).

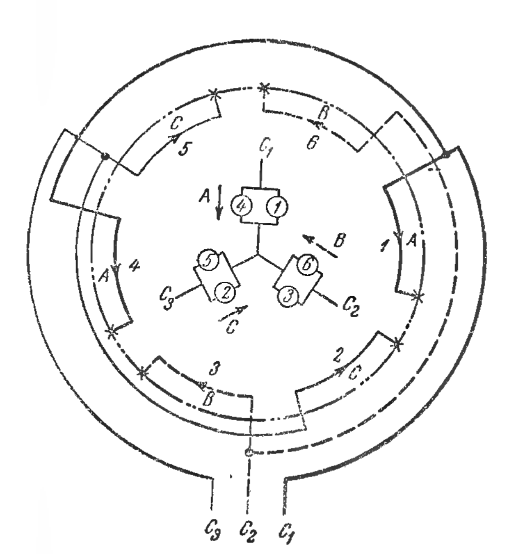


Рис. 3-38. Схема соединений для 2 полюсов, 3 фаз в 2 параллельные звезды.

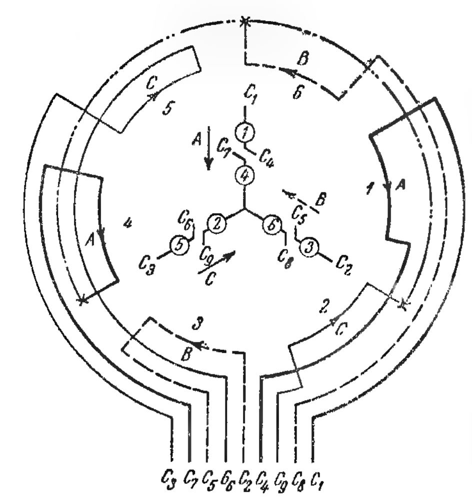



Рис. 3-39. Схема соединений для 2 полюсов, 3 фаз в звезду с 9 выводами (для соединения последовательного или в 2 параллельные звезды).

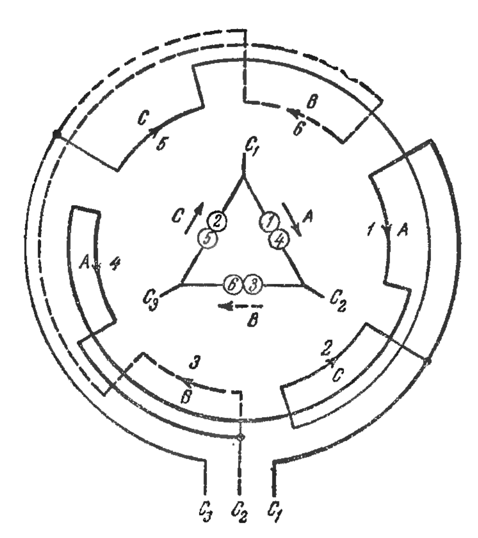



Рис. 3-40. Схема соединений для 2 полюсов, 3 фаз в треугольник при последовательном соединении групп („в—в“).



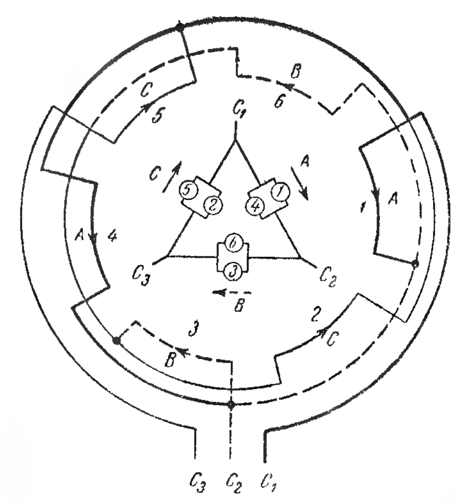



Рис. 3-41. Схема соединений для 2 полюсов, 3 фаз в 2 параллельных треугольника.

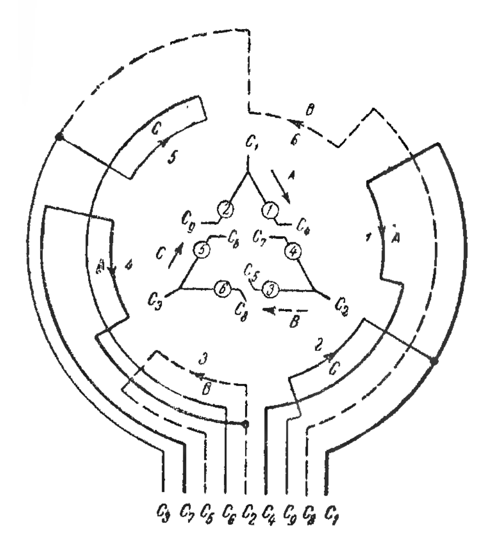



Рис. 3-42. Схема соединений для 2 полюсов, 3 фаз в треугольник с 9 выводами (для соединения последовательного или в 2 параллельных треугольника).

Таблица 3-10

**Таблица соединений для 2 полюсов и 3 фаз („в—в“)**
(см. схемы соединений на рис. 3-37, 3-38, 3-40 и 3-41)

| Фаза | Соединения | | Выводы | |
|---|---|---|---|---|
| A | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4 | $C_1$→Н1 | $C_4$→Н4 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1 ‖ К4 Н4 | $C_1$→Н1→К4<br>$C_4$→К1→Н4 | |
| B | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6 | $C_2$→Н3 | $C_5$→Н6 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3 ‖ К6 Н6 | $C_2$→Н3→К6<br>$C_5$→К3→Н6 | |
| C | Последовательное | Н5 К5→К2 Н2 | $C_3$→Н5 | $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К2<br>$C_6$→К5→Н2 | |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью) $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы.
К—конец группы.
„в—в“—„от верхнего к верхнему“, или от „нижнего к нижнему“, или короткое межгрупповое соединение.
→соединить с началом или концом группы.
‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.



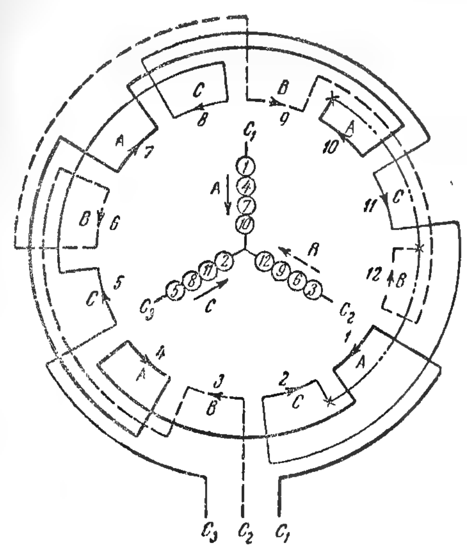



Рис. 3-43. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в звезду при последовательном соединении групп („в—в“).

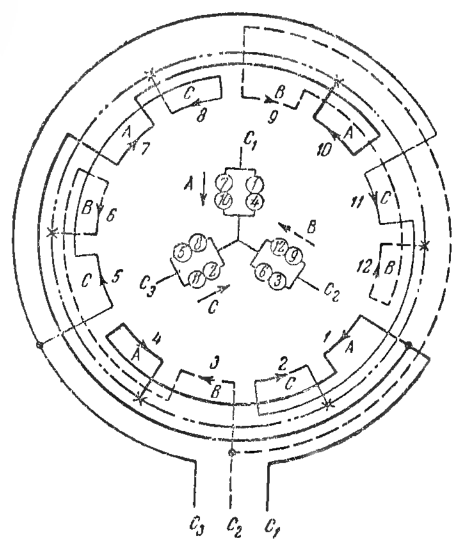



Рис. 3-44. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в 2 параллельные звезды („в—в“).

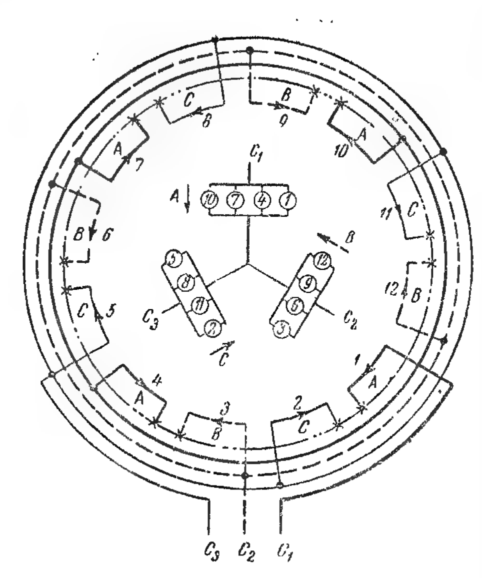



Рис. 3-45. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в 4 параллельные звезды („в—в").

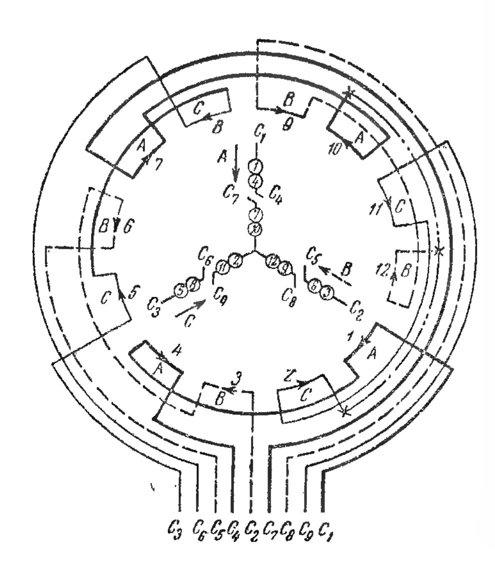



Рис. 3-46. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в звезду с 9 выводами (для соединения последовательного или в 2 параллельные звезды).



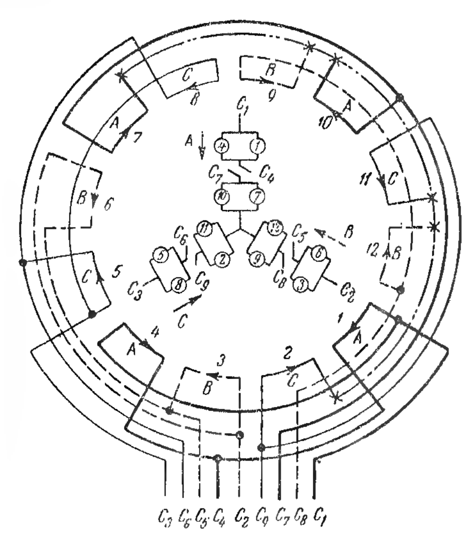



Рис. 3-47. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в 2 или 4 параллельные звезды с 9 выводами.

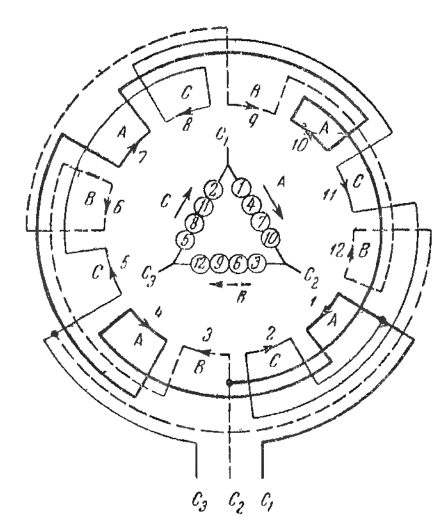



Рис. 3-48. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в треугольник при последовательном соединении групп („в—в").

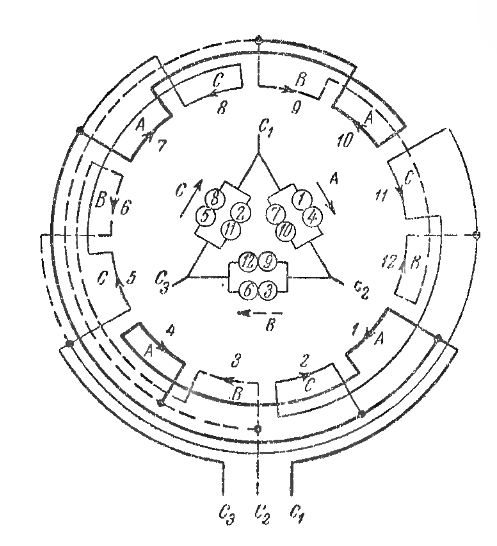



Рис. 3-49. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в 2 параллельных треугольника („в—в“).

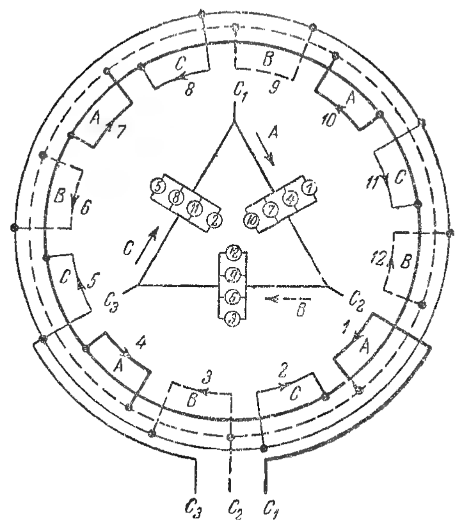



Рис. 3-50. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в 4 параллельных треугольника.



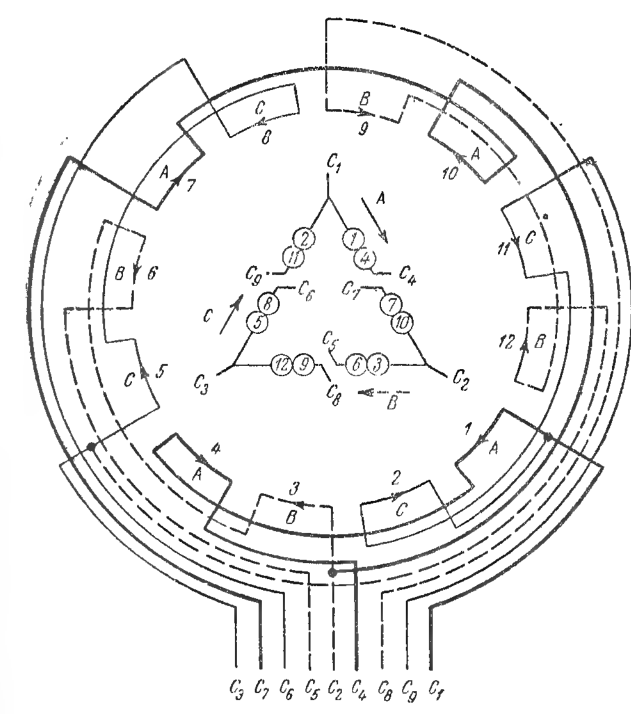



Рис. 3-51. Схема соединений для 4 полюсов, 3 фаз в треугольник с 9 выводами (для соединения последовательного или в 2 параллельных треугольника).

Таблица 3-11

**Таблица соединений для 4 полюсов и 3 фаз („в—в")**
(см. схемы соединений на рис. 3-43—3-45 и 3-48—3-50)

| Фаза | Соединения | | Выводы | |
|---|---|---|---|---|
| A | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10 | $C_1$→Н1 | $C_4$→Н10 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 | $C_1$→Н1→Н7 | $C_4$→Н4→Н10 |
| | В 4 параллельные ветви | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10 | |
| B | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12 | $C_2$→Н3 | $C_5$→Н12 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 | $C_2$→Н3→Н9 | $C_5$→Н6→Н12 |
| | В 4 параллельные ветви | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12 | |
| C | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К2 Н2 | $C_3$→Н5 | $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11 | $C_6$→Н8→Н2 |
| | В 4 параллельные ветви | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К2<br>$C_3$→К5→Н8→К11→Н2 | |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью);
$C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму;
$C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы,
К—конец группы.
„в—в"—„от верхнего к верхнему" или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.
→соединить с началом или концом группы.
‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.

Рис 3-52. Схема соединения для 4 полюсов, 3 фаз в 2 или 4 параллельных треугольника с 9 выводами.

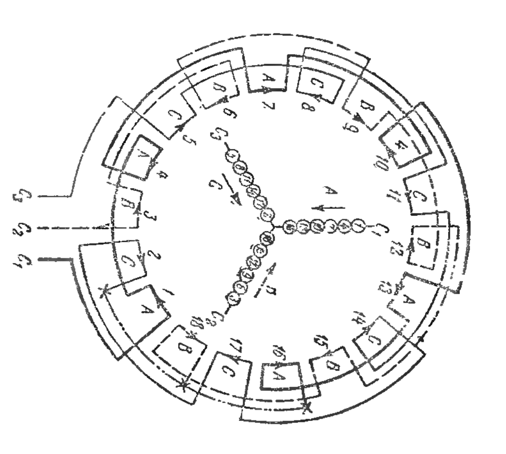



Рис. 3-53. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в звезду при последовательном соединении групп („в—в").

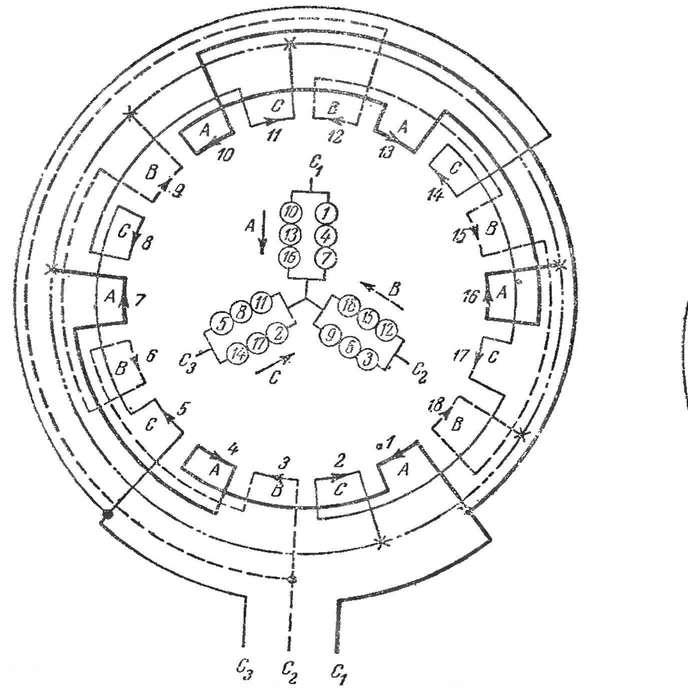



Рис. 3-54. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в 2 параллельные звезды.

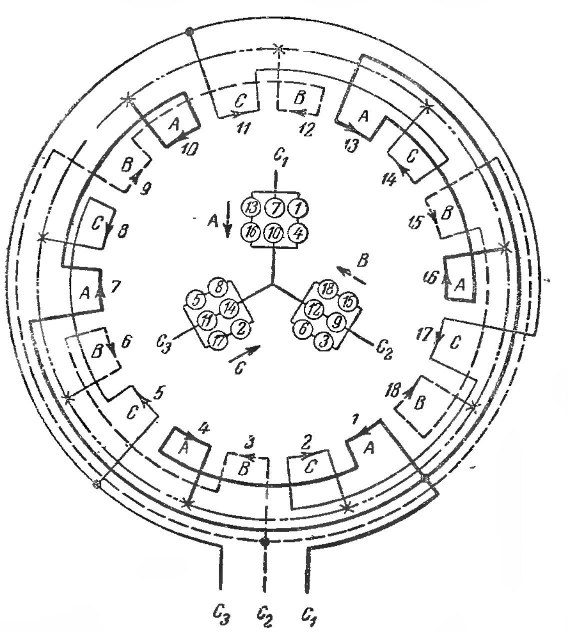



Рис. 3-55. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в 3 параллельные звезды („в—в“).

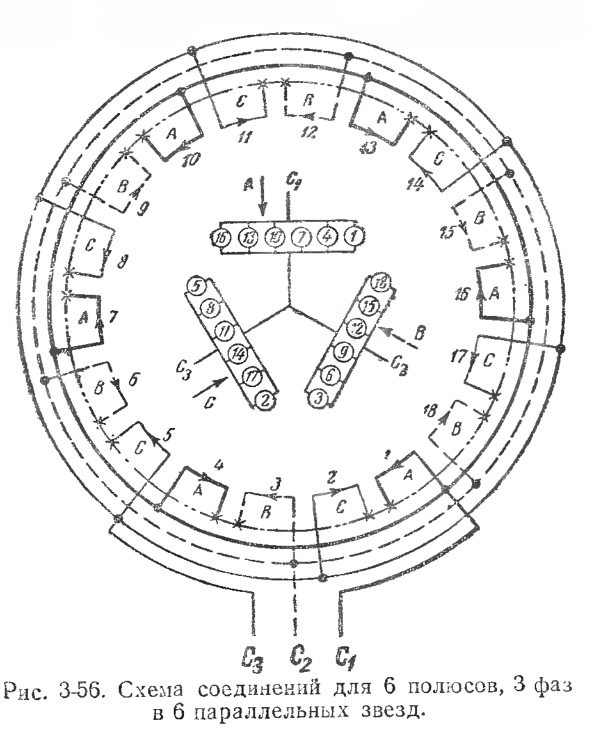



Рис. 3-56. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в 6 параллельных звезд.

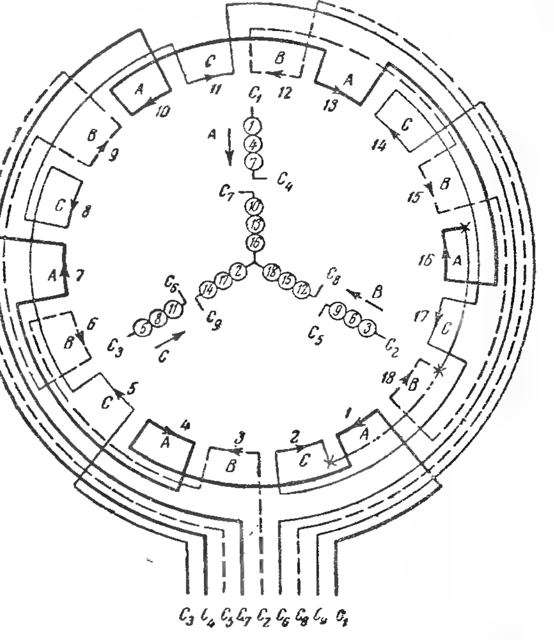



Рис. 3-57. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в звезду с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельные звезды („в—в“)].

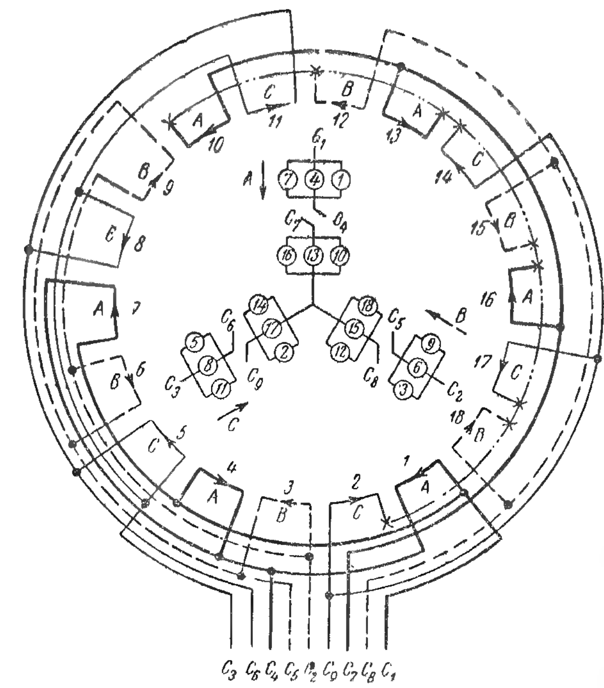


Рис. 3-58. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в 3 или 6 параллельных звезд с 9 выводами.



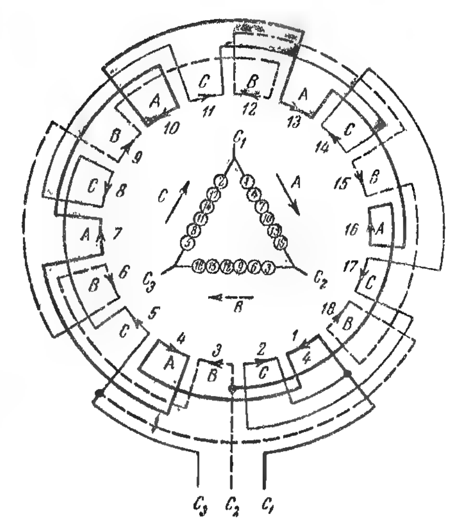


Рис. 3-59. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в треугольник при последовательном соединении групп („в—в").

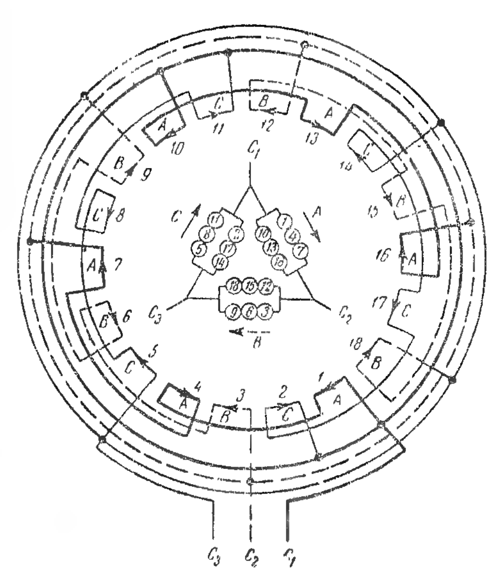


Рис. 3-60. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в 2 параллельных треугольника („в—в").

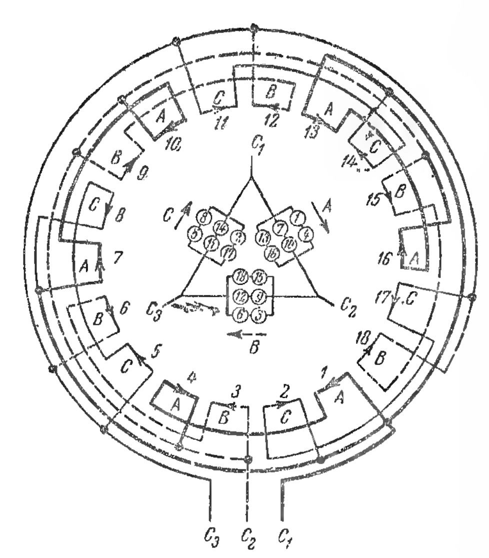



Рис. 3-61. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в 3 параллельных треугольника („в—в“).

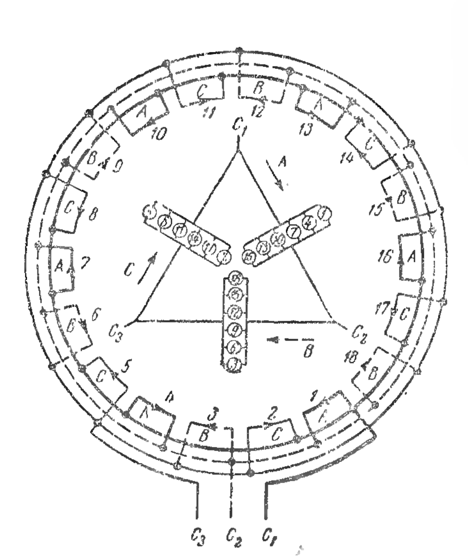



Рис. 3-62. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в 6 параллельных треугольников.



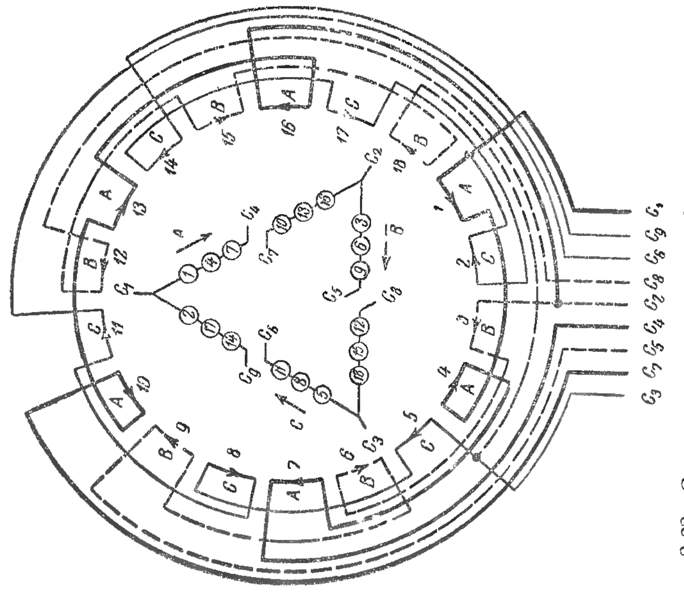



Рис. 3-63. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в треугольник с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельных треугольника („в—в“)].

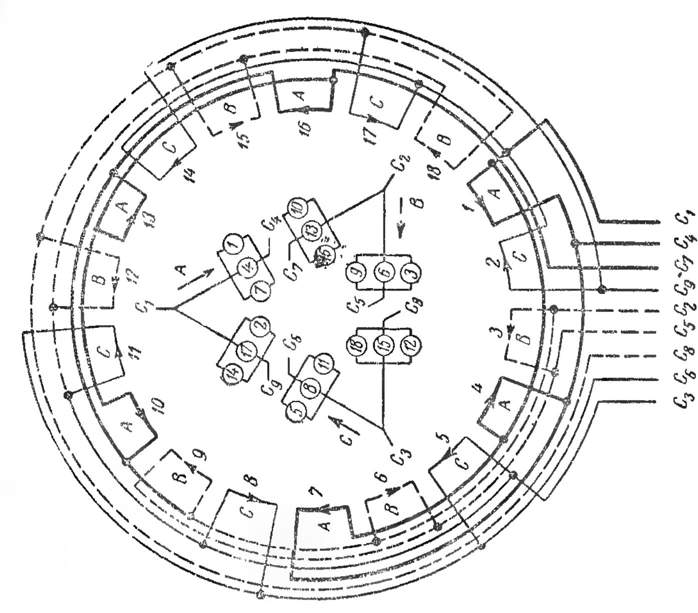



Рис. 3-64. Схема соединений для 6 полюсов, 3 фаз в 3 или 6 параллельных треугольников с 9 выводами.

Таблица 3-12

**Таблица соединений для 6 полюсов и 3 фаз („в—в“)**
(см. схемы соединений на рис. 3-53—3-56 и 3-59—3-62)

| Фаза | Соединения | | Выводы | |
|---|---|---|---|---|
| A | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16 | $C_1$→Н1 | $C_4$→Н16 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7 ‖ К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16 | $C_1$→Н1→К10 | $C_4$→К7→Н16 |
| | В 3 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16 | $C_1$→Н1→Н7→Н13 | $C_4$→Н4→Н10→Н16 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13 К13 ‖ К16 Н16 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16 | |
| B | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18 | $C_2$→Н3 | $C_5$→Н18 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9 ‖ К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18 | $C_2$→Н3→К12 | $C_5$→К9→Н18 |
| | В 3 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18 Н18 | $C_2$→Н3→Н9→Н15 | $C_5$→Н6→Н12→Н18 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15 К15 ‖ К18 Н18 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18 | |
| C | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К2 Н2 | $C_3$→Н5 | $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11 ‖ К14 Н14→Н17 К17→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К14 | $C_6$→К11→Н2 |
| | В 3 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17 | $C_6$ → Н8→Н14→Н2 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17 К17 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н2 | |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединений с сетью); $C_4$, $C_5$ $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму: $C_2$, $C_4$—ко втор му зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму. Н—начало группы. К—конец группы. „в—в“—„от верхнего к верхнему“, или „от нижнего к нижнему“, или короткое междугрупповое соединение. → соединить с началом или концом группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.



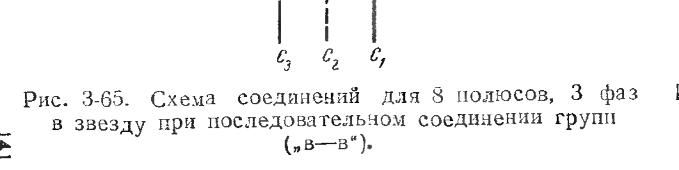


Рис. 3-65. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в звезду при последовательном соединении групп („в—в“).

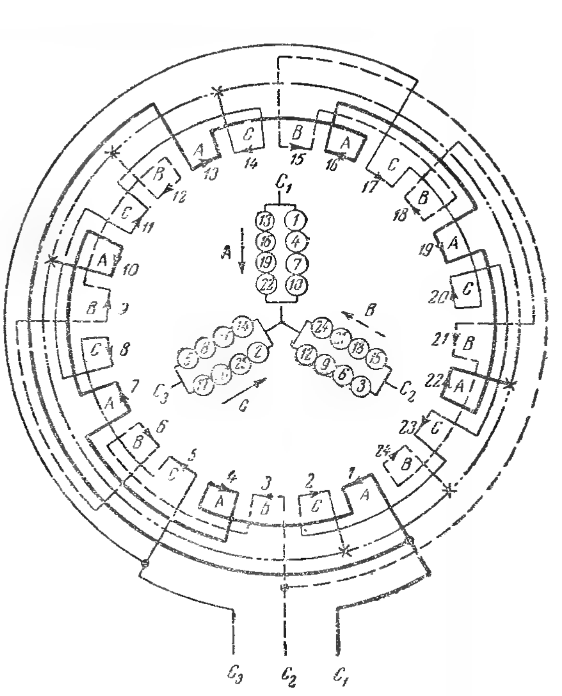


Рис. 3 66. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 2 параллельные звезды („в—в“).

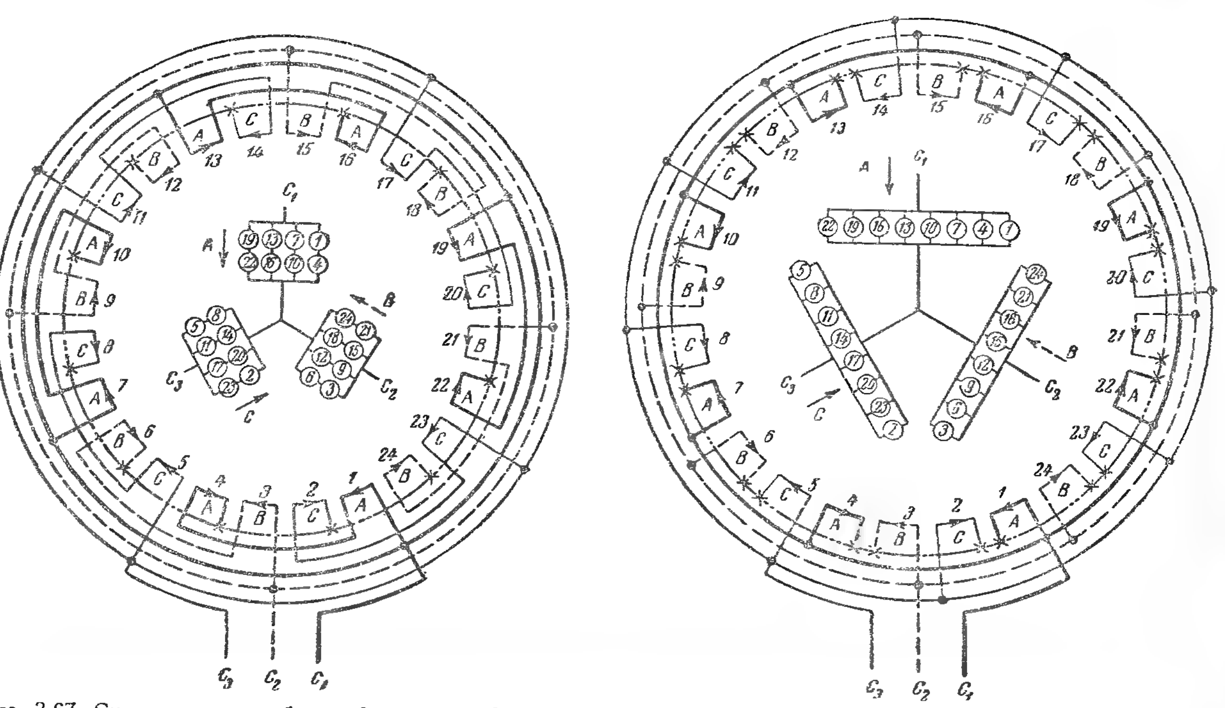



Рис. 3-67. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 4 параллельные звезды („в—в“).

Рис. 3-68. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 8 параллельных звезд.



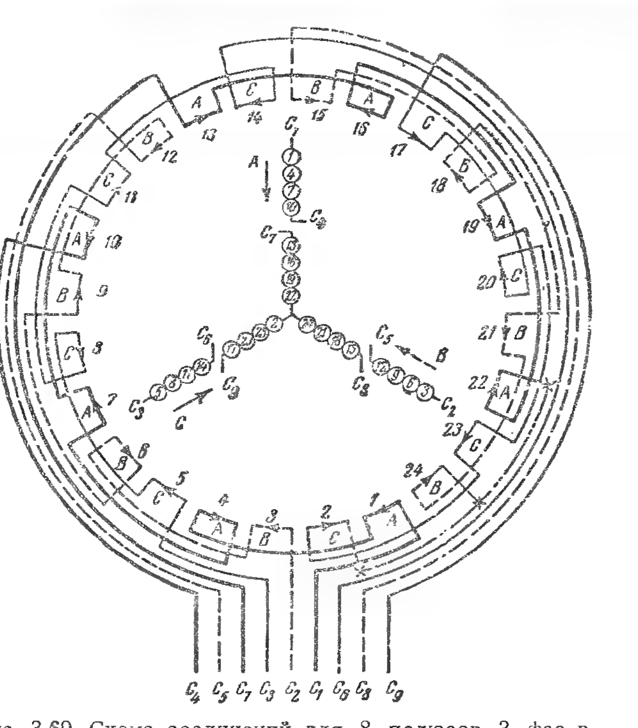



Рис. 3-69. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в звезду с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельные звезды („в—в“)].

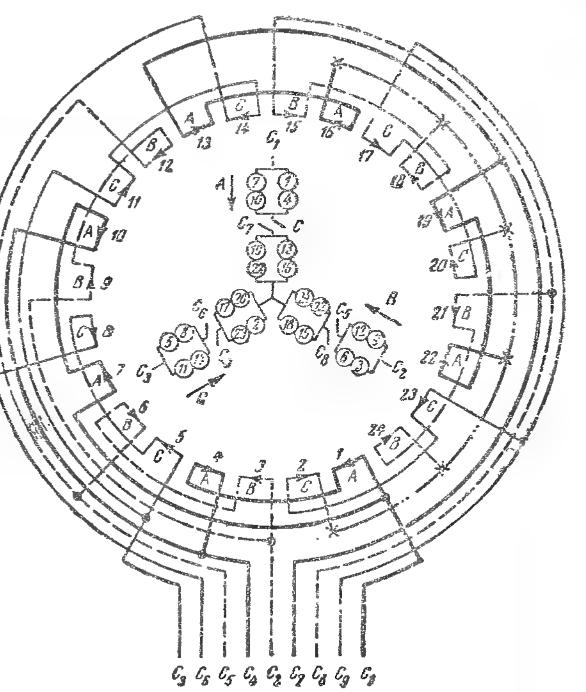


Рис. 3-70. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 2 или 4 параллельные звезды с 9 выводами („в—в“).

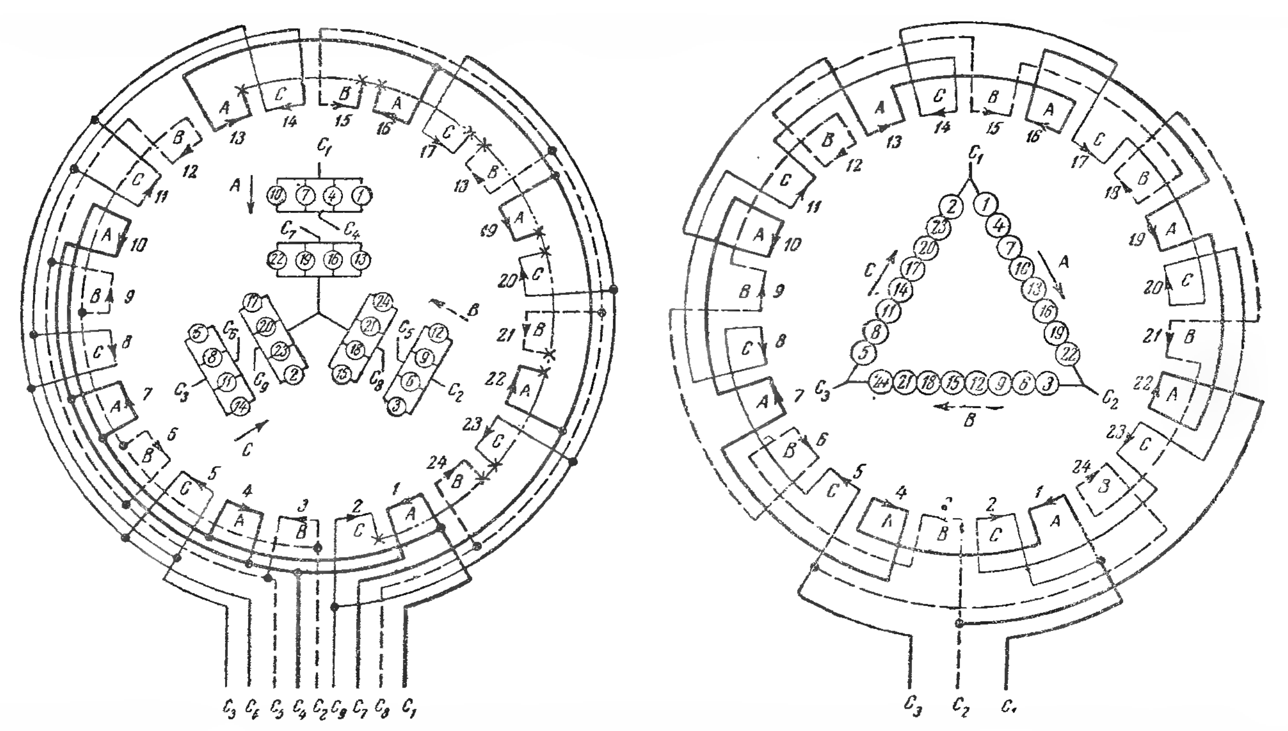


Рис. 3-71. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 4 или 8 параллельных звезд с 9 выводами („в—в“).

Рис. 3-72. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в треугольник при последовательном соединении групп („в—в“).

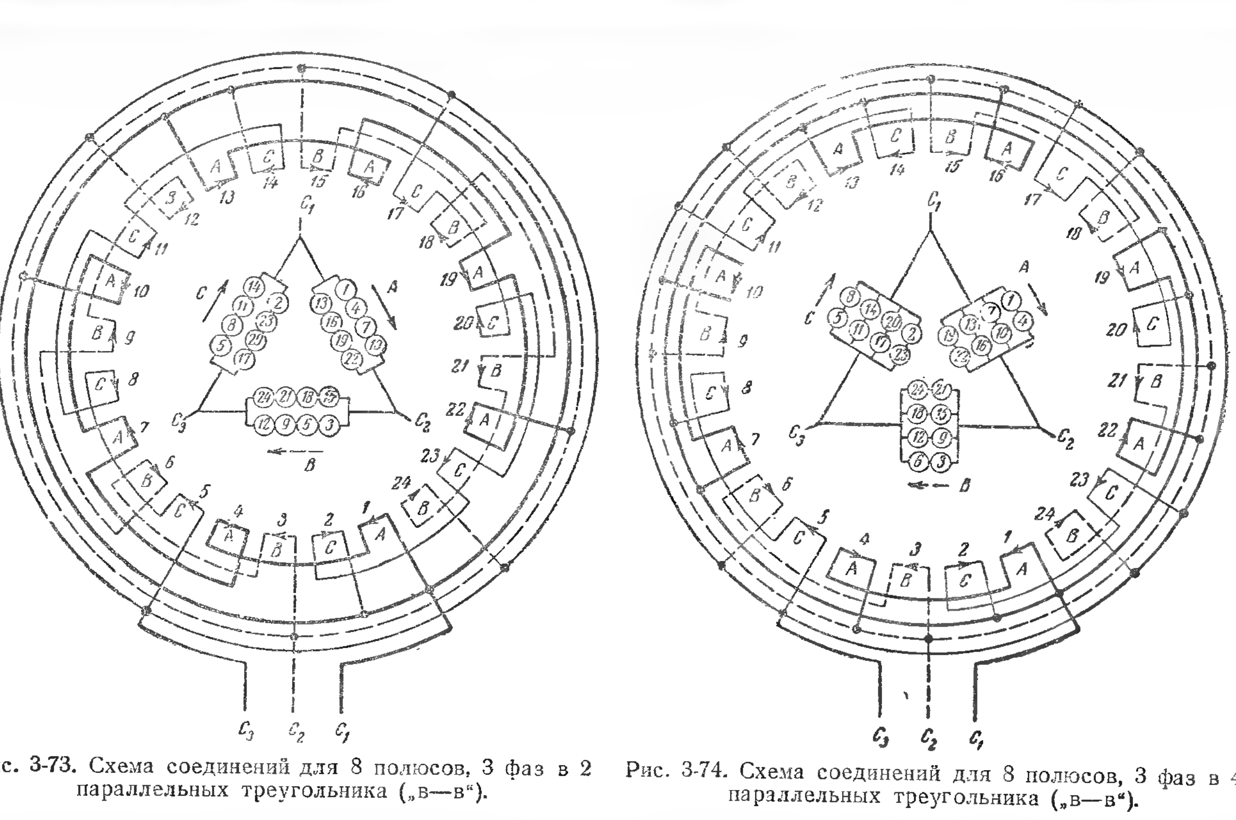


Рис. 3-73. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 2 параллельных треугольника („в—в“).

Рис. 3-74. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 4 параллельных треугольника („в—в“).

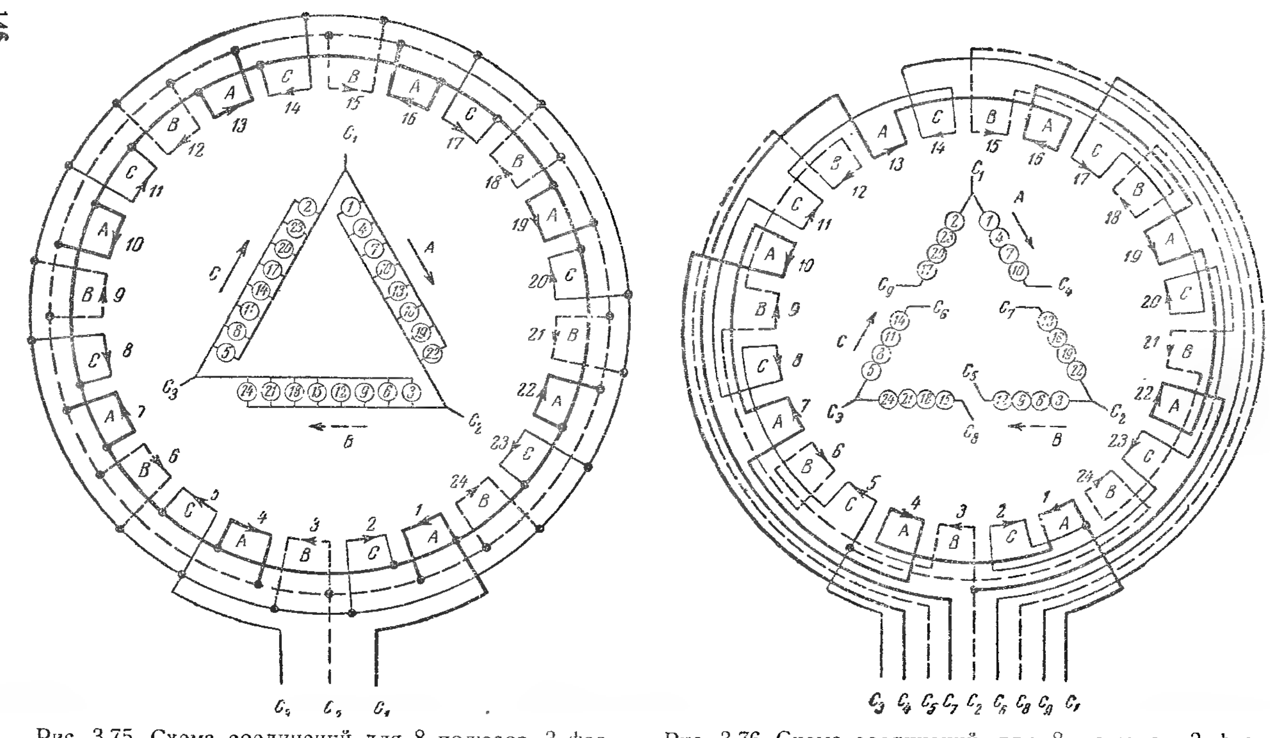


Рис. 3-75. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 8 параллельных треугольников.

Рис. 3-76. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в треугольник с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельных треугольника („в—в“)].



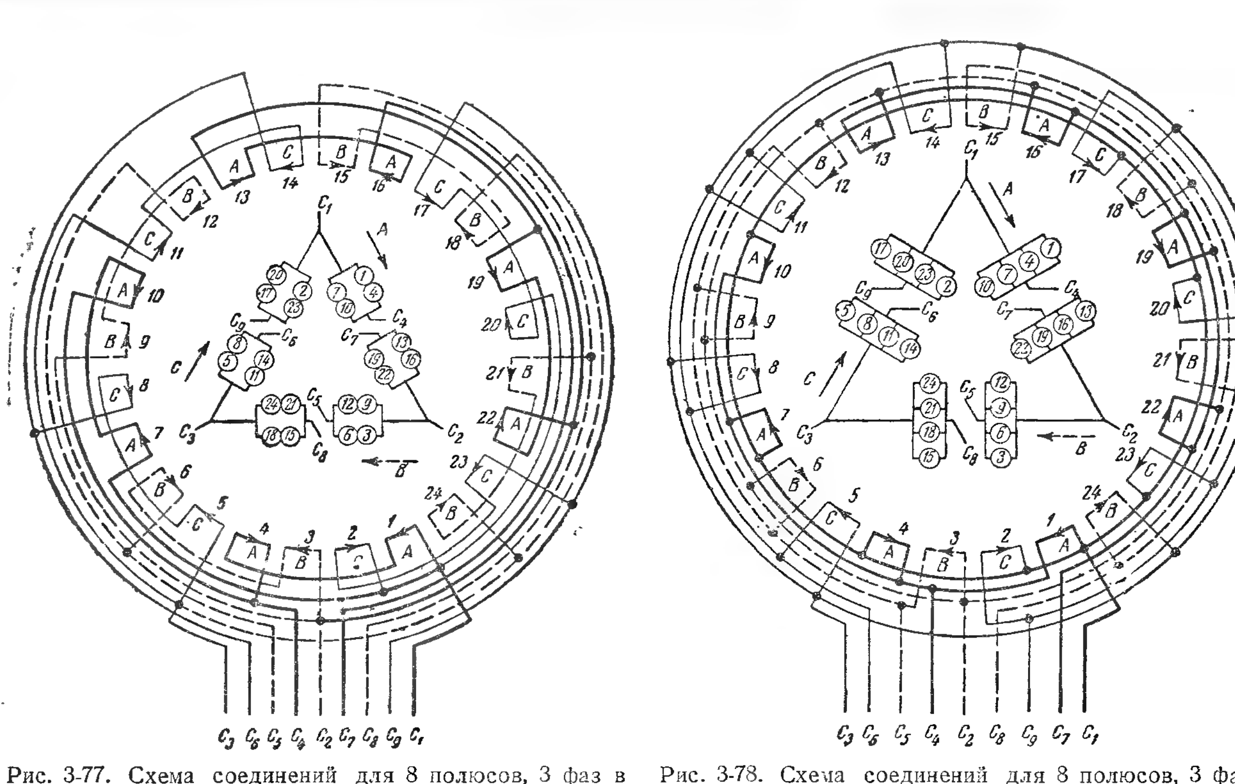


Рис. 3-77. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 2 или 4 параллельных треугольника с 9 выводами („в—в“).

Рис. 3-78. Схема соединений для 8 полюсов, 3 фаз в 4 или 8 параллельных треугольников с 9 выводами.

Таблица 3-13

## Таблица соединений для 8 полюсов и 3 фаз („в—в")
(см. схемы соединений на рис. 3-65—3-68 и 3-72—3-75)

| Фаза | Соединения | | Выводы | |
|---|---|---|---|---|
| A | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22 | $C_1$→Н1 | $C_4$→Н22 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22 | $C_1$→Н1→Н13 | $C_4$→Н10→Н22 |
| | В 4 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22 | |
| | В 8 параллельных ветвей | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13 К13 ‖ К16 Н16 ‖ Н19 К19 ‖ К22 Н22 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→Н19→К22<br>$C_1$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→К19→Н22 | |
| B | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24 | $C_2$→Н3 | $C_5$→Н24 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24 | $C_2$→Н3→Н15 | $C_5$→Н12→Н24 |
| | В 4 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24 | |
| | В 8 параллельных ветвей | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15 К15 ‖ К18 Н18 ‖ Н21 К21 ‖ К24 Н24 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→Н21→К24<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→К21→Н24 | |
| C | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→→Н17 К17→К20 Н20→Н23 К23→К2 Н2 | $C_3$→Н5 | $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20→Н23 К23→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н17 | $C_3$→Н14→Н2 |
| | В 4 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н2 | |
| | В 8 параллельных ветвей | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17 К17 ‖ К20 Н20 ‖ Н23 К23 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→Н23→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→К23→Н2 | |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединений с сетью;) $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму. Н—начало группы. К—конец группы. „в—в"—„от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое межгрупповое соединение. → соединить с началом или концом группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.

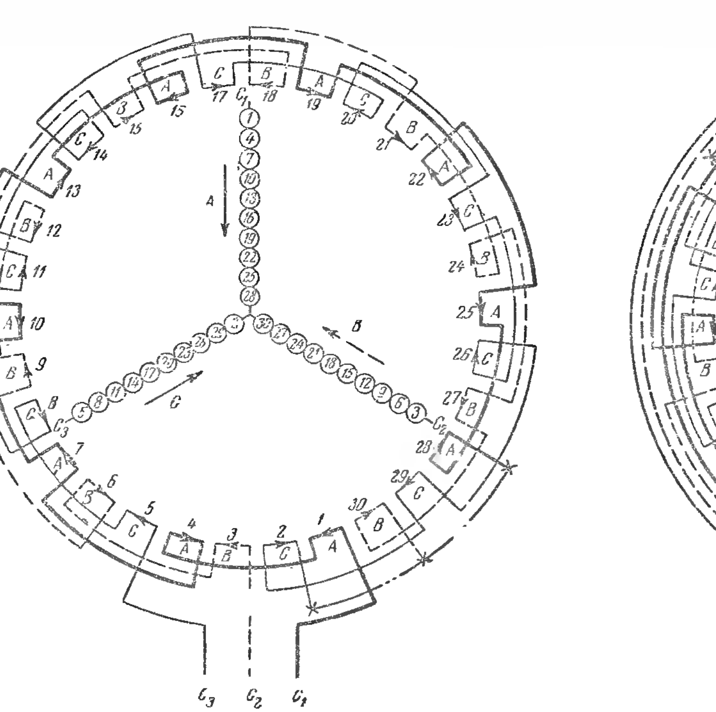



Рис. 3-79. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в звезду при последовательном соединении групп („в—в").

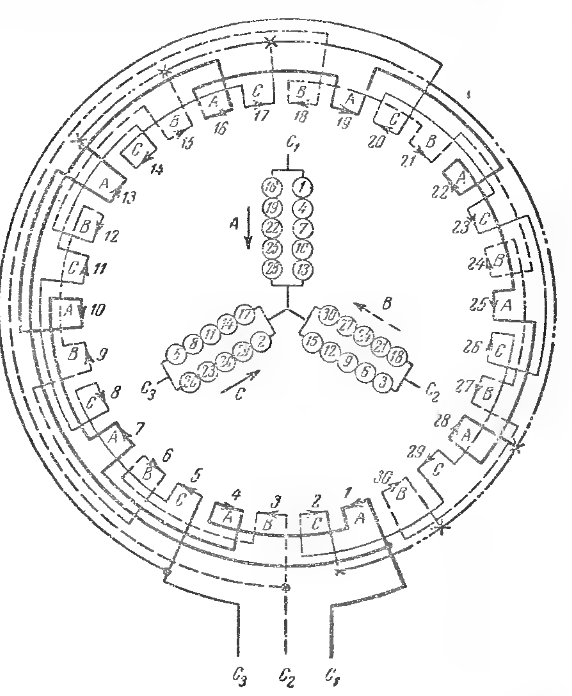



Рис. 3-80. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в 2 параллельные звезды („в—в").

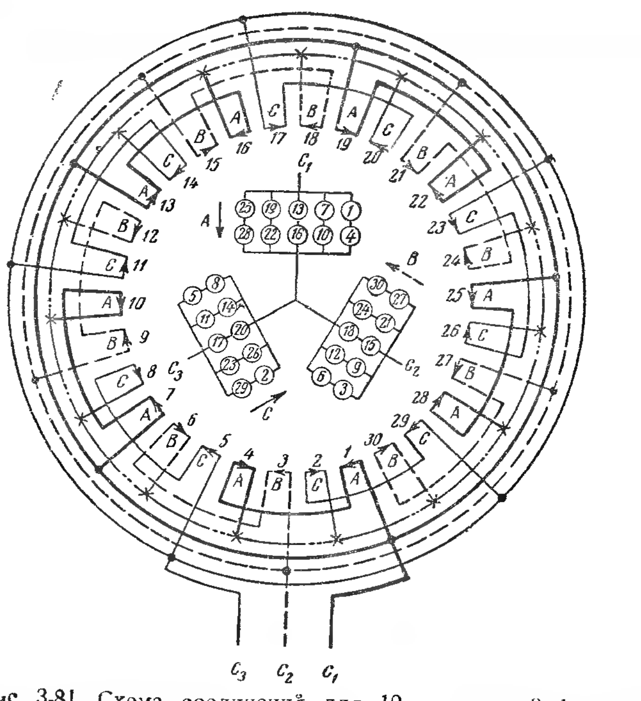



Рис. 3-81. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в 5 параллельных звезд („в—в“).

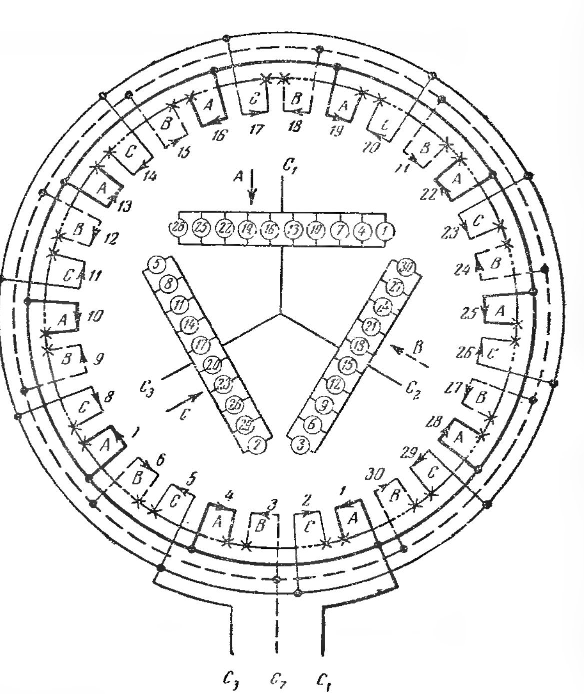



Рис. 3-82. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в 10 параллельных звезд.

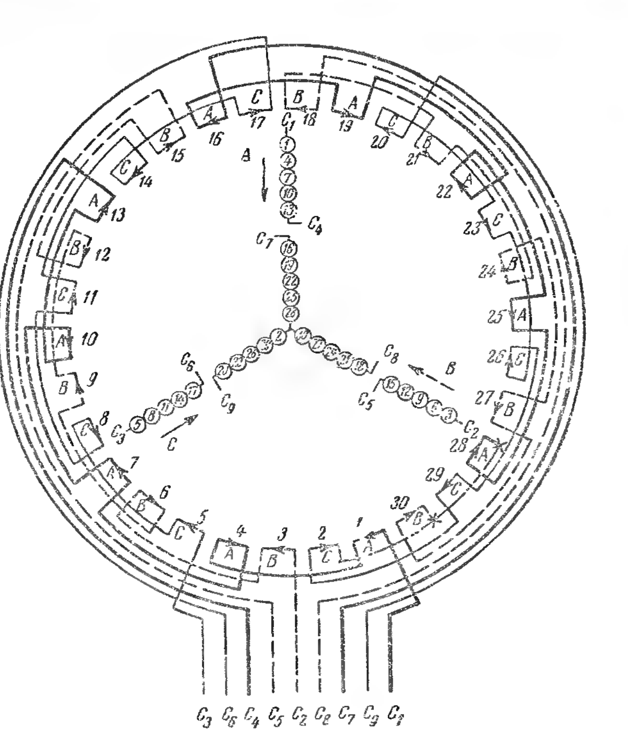



Рис. 3-83. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельные звезды („в—в“)].

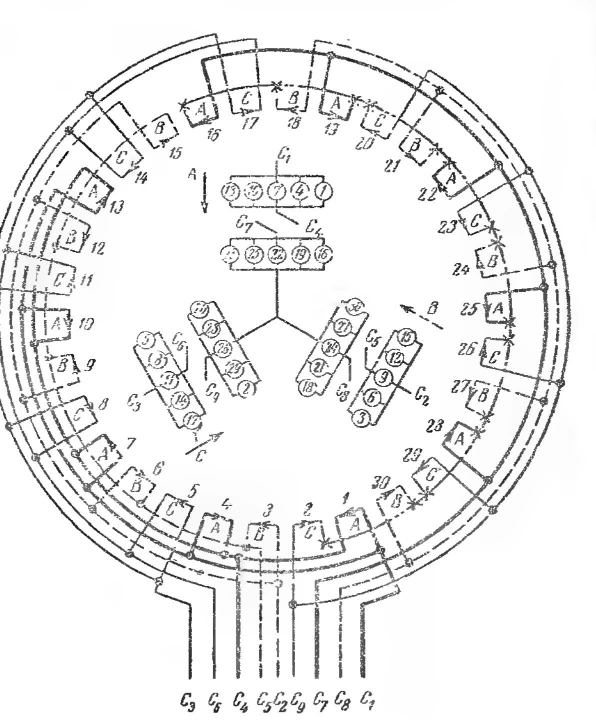



Рис. 3-84. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в 5 или 10 параллельных звезд с 9 выводами.

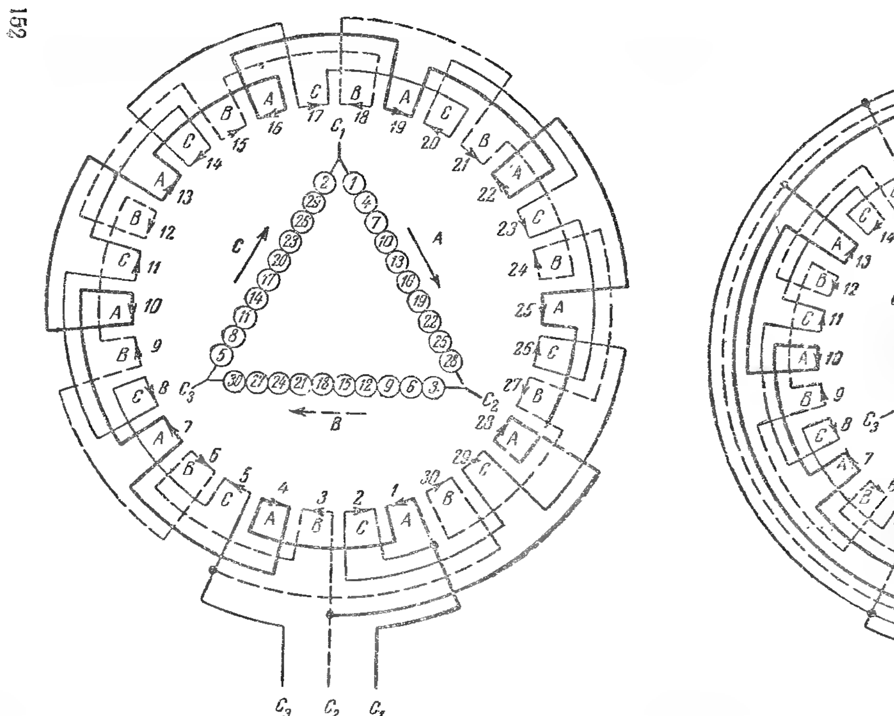



Рис. 3-85. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в треугольник при последовательном соединении групп („в—в").

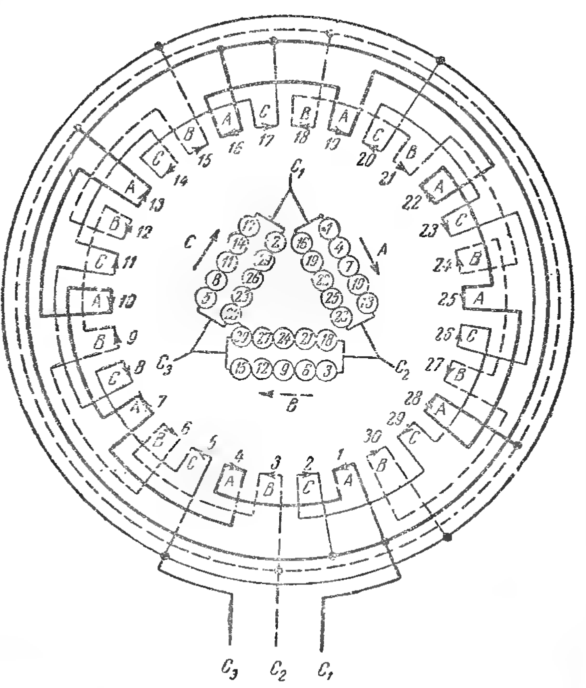



Рис. 3-86. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в 2 параллельных треугольника („в—в").

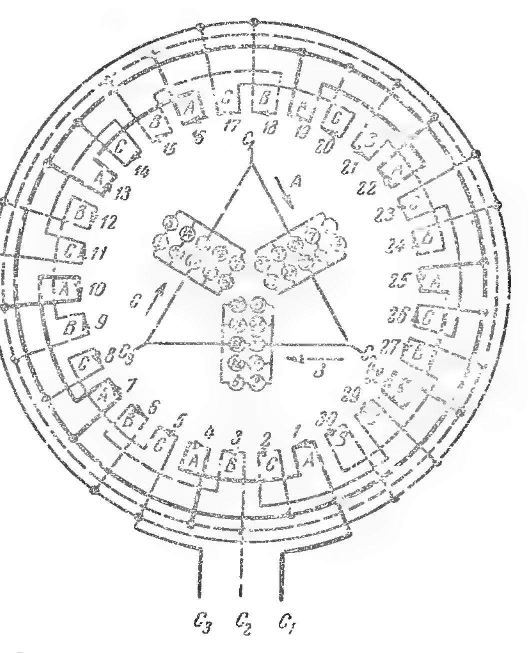



Рис. 3-87. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в 5 параллельных треугольников („в—в").

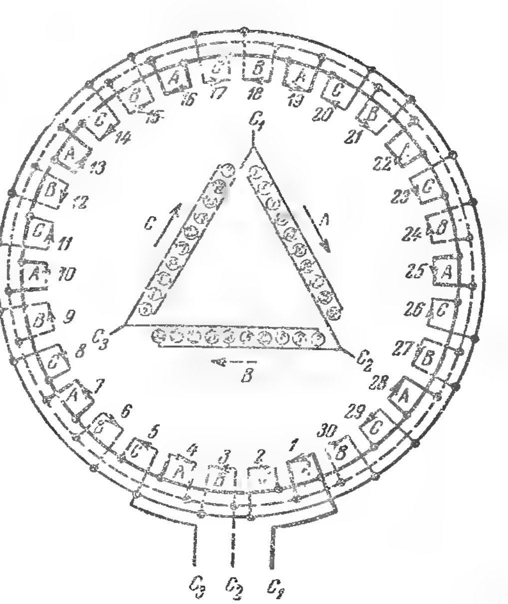



Рис. 3-88. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в 10 параллельных треугольников.

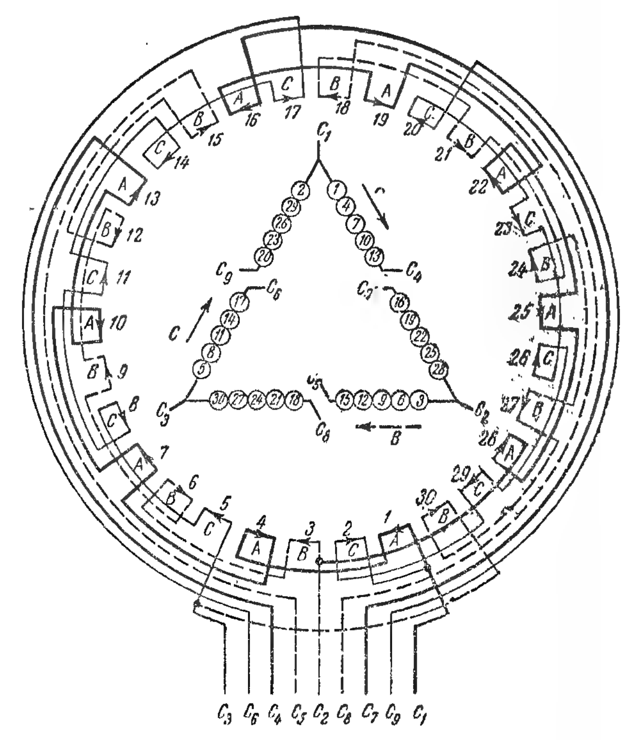



Рис. 3-89. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в треугольник с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельных треугольника („в—в“)].



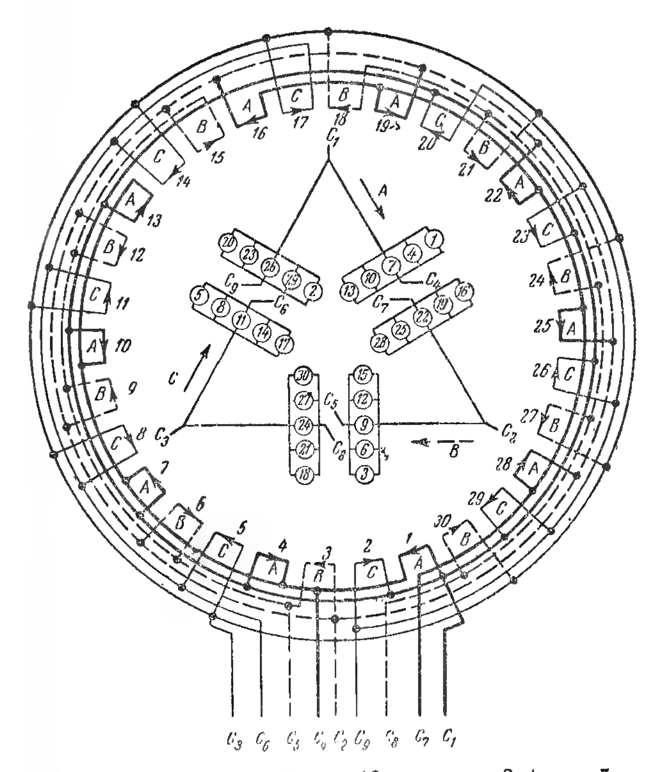



Рис 3-90. Схема соединений для 10 полюсов, 3 фаз в 5 или 10 параллельных треугольников с 9 выводами.

Таблица 3-14

**Таблица соединений для 10 полюсов и 3 фаз („в—в“)**
(см. схемы соединений на рис. 3-70, 3-80—3-82 и 3-85—3-88)

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| A | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н28 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13 ∥ К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28 | $C_1$→Н1→К16 $C_4$→К13→Н28 |
| | В 5 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4 ∥ Н7 К7→К10 Н10 ∥ Н13 К13→К16 Н16 ∥ Н19 К19→К22 Н22 ∥ Н25 К25→К28 Н28 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28 |
| | В 10 параллельных ветвей | Н1 К1 ∥ К4 Н4 ∥ Н7 К7 ∥ К10 Н10 ∥ Н13 К13 ∥ К16 Н16 ∥ Н19 К19 ∥ К22 Н22 ∥ Н25 К25 ∥ К28 Н28 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→Н19→К22→→Н25→К28<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→К19→Н22→→К25→Н28 |
| B | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30 | $C_2$→Н3 $C_5$→Н30 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15 ∥ К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30 | $C_2$→Н3→К18 $C_5$→К15→Н30 |
| | В 5 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ∥ Н9 К9→К12 Н12 ∥ Н15 К15→К18 Н18 ∥ Н21 К21→К24 Н24 ∥ Н27 К27→К30 Н30 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30 |
| | В 10 параллельных ветвей | Н3 К3 ∥ К6 Н6 ∥ Н9 К9 ∥ К12 Н12 ∥ Н15 К15 ∥ К18 Н18 ∥ Н21 К21 ∥ К24 Н24 ∥ Н27 К27 ∥ К30 Н30 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→Н21→К24→→Н27→К30<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→К21→Н24→→К27→Н30 |
| C | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17 ∥ К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К20 $C_6$→К17→Н2 |
| | В 5 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ∥ Н11 К11→К14 Н14 ∥ Н17 К17→К20 Н20 ∥ Н23 К23→К26 Н26 ∥ Н29 К29→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29<br>$C_3$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н2 |
| | В 10 параллельных ветвей | Н5 К5 ∥ К8 Н8 ∥ Н11 К11 ∥ К14 Н14 ∥ Н17 К17 ∥ К20 Н20 ∥ Н23 К23 ∥ К26 Н26 ∥ Н29 К29 ∥ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→Н23→К26→→Н29→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→К23→Н26→→К29→Н2 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы.
К—конец группы.
→соединить с началом или концом группы.
∥ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в“—„от верхнего к верхнему“, или „от нижнего к нижнему“, или короткое междугрупповое соединение.

Рис. 3-91 Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в звезду при последовательном соединении групп („в—в").

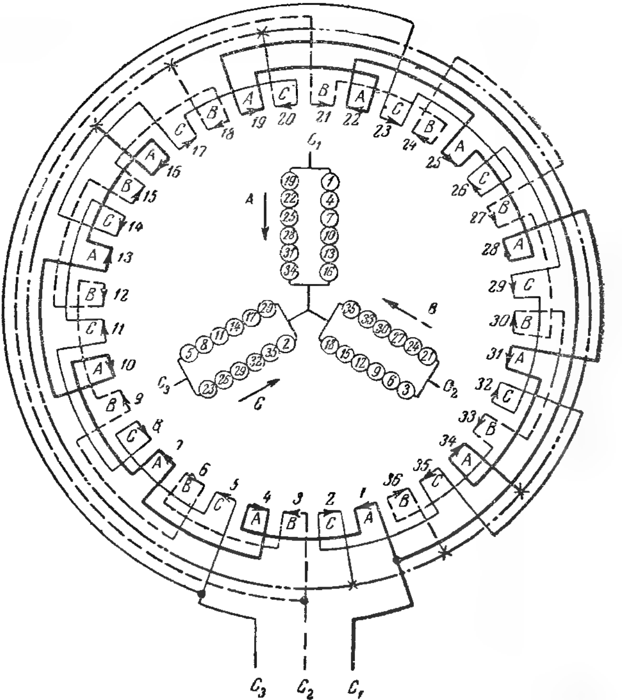



Рис. 3-92. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 2 параллельные звезды („в—в").

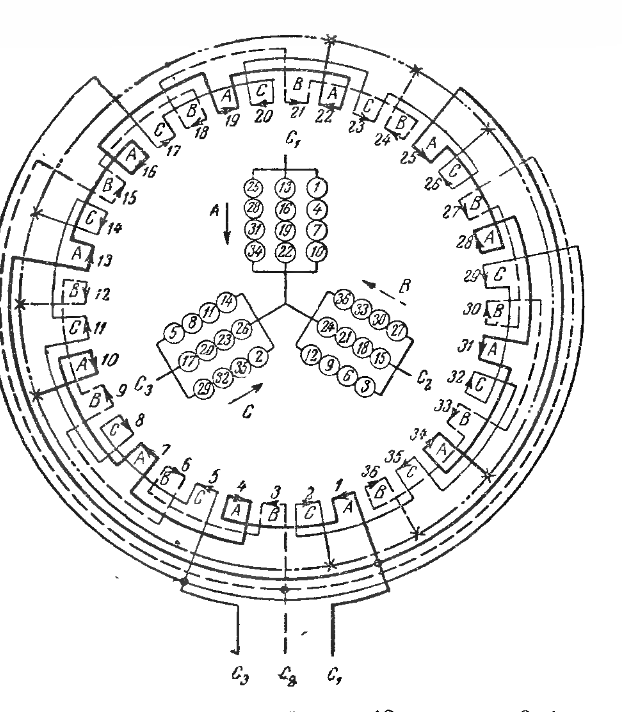



Рис. 3-93. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 3 параллельные звезды („в—в").

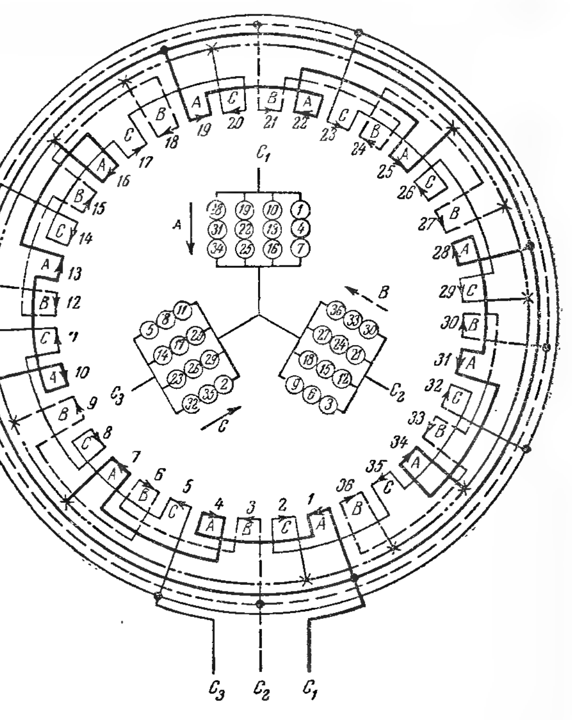



Рис. 3-94. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 4 параллельные звезды („в—в").

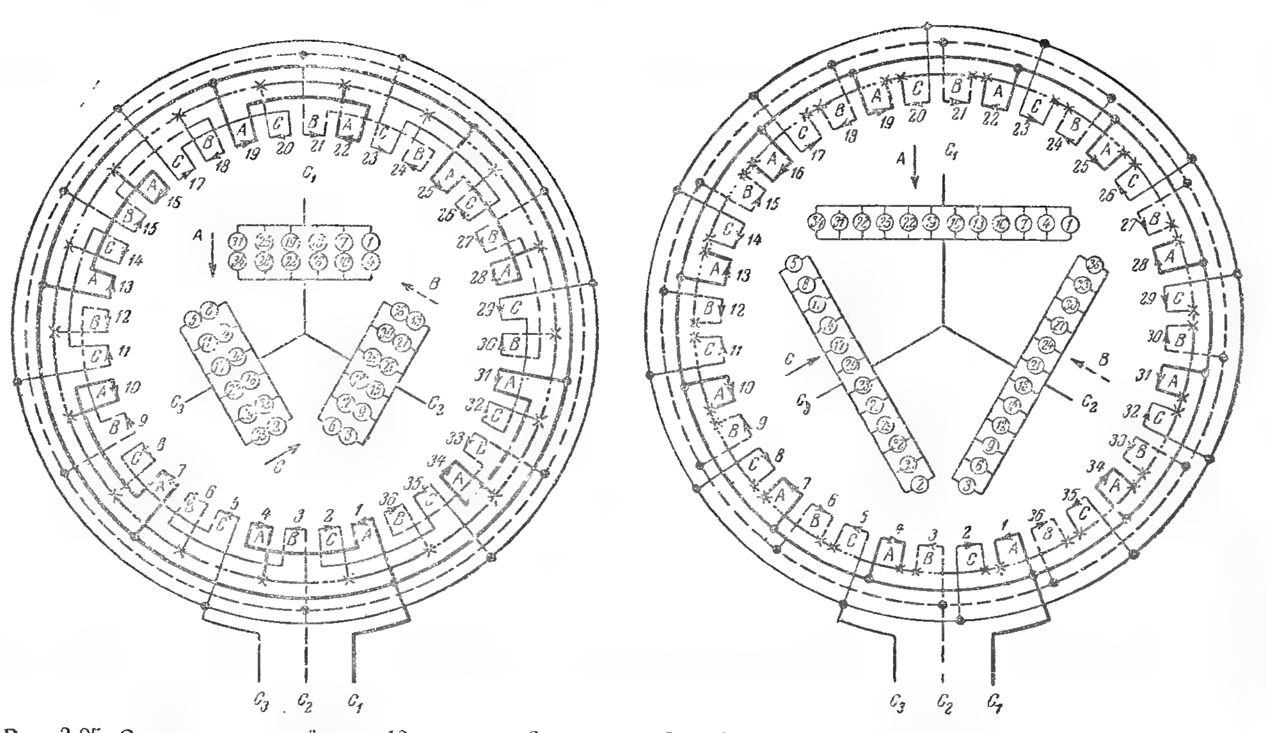



Рис. 3-95. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 6 параллельных звезд („в—в“).

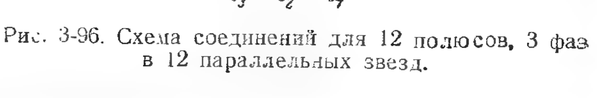


Рис. 3-96. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 12 параллельных звезд.

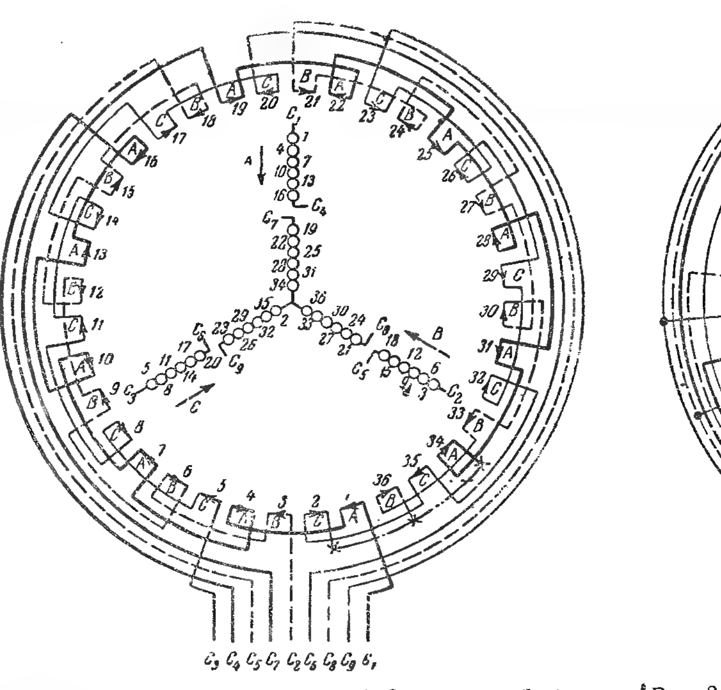



Рис. 3-97. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в звезду с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельные звезды („в—в“)].

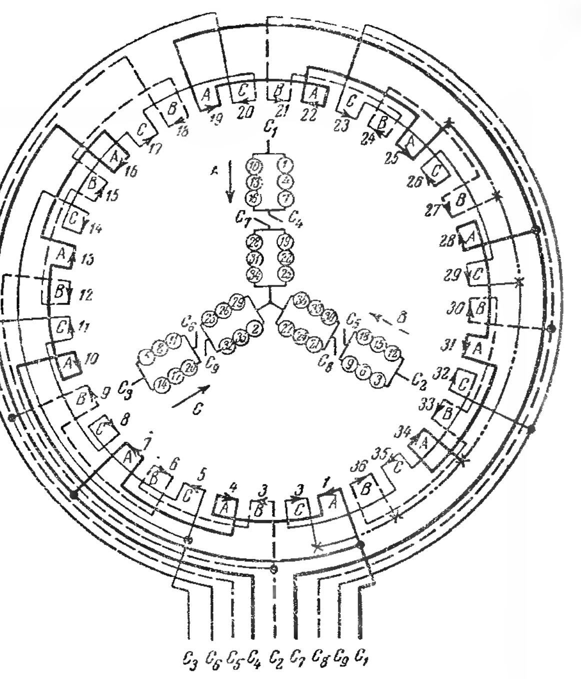



Рис. 3-98. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 2 или 4 параллельные звезды с 9 выводами („в—в“).

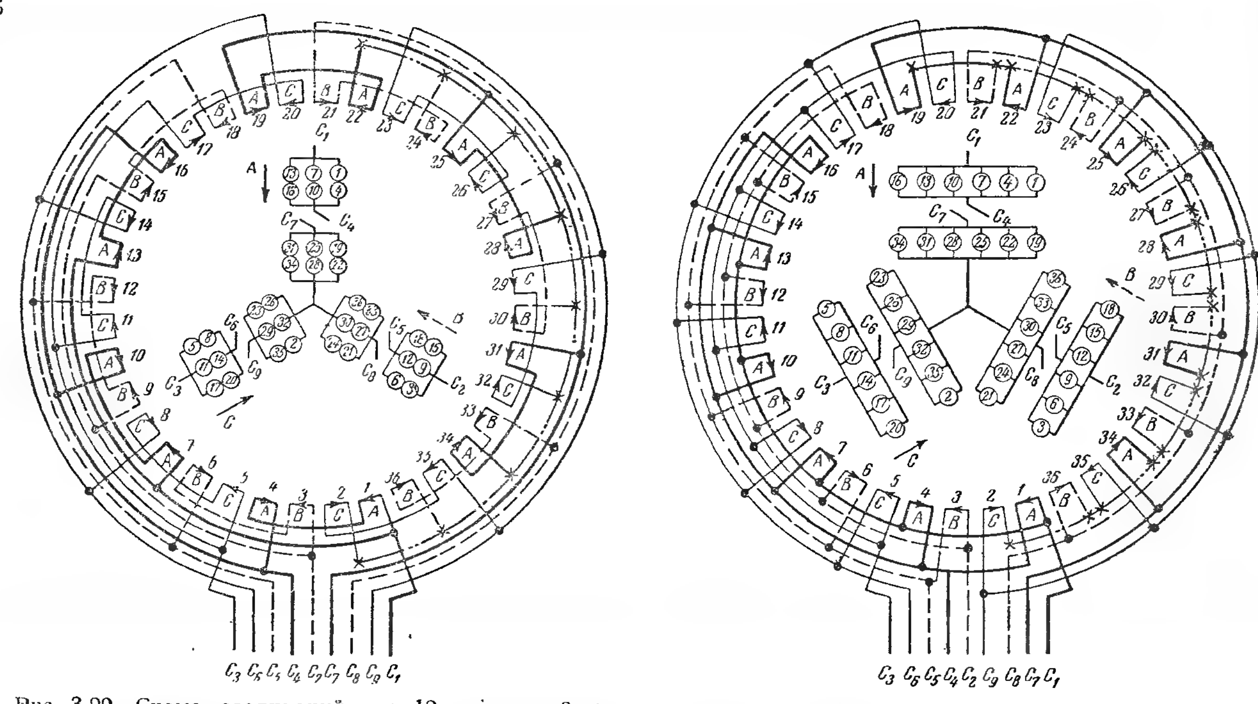


Рис. 3-99. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 3 или 6 параллельных звезд с 9 выводами („в—в“).

Рис. 3-100. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 6 или 12 параллельных звезд с 9 выводами.

Рис. 3-101. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в треугольник при последовательном соединении групп („в—в“).

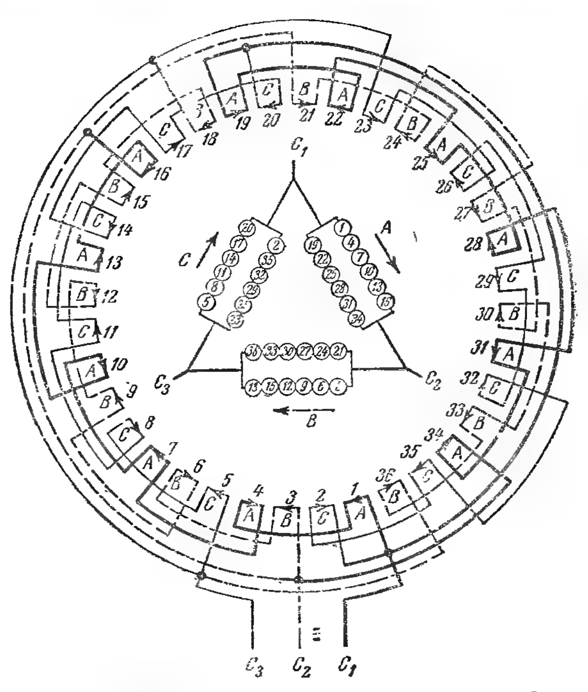


Рис. 3-102. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 2 параллельных треугольника („в — в“).

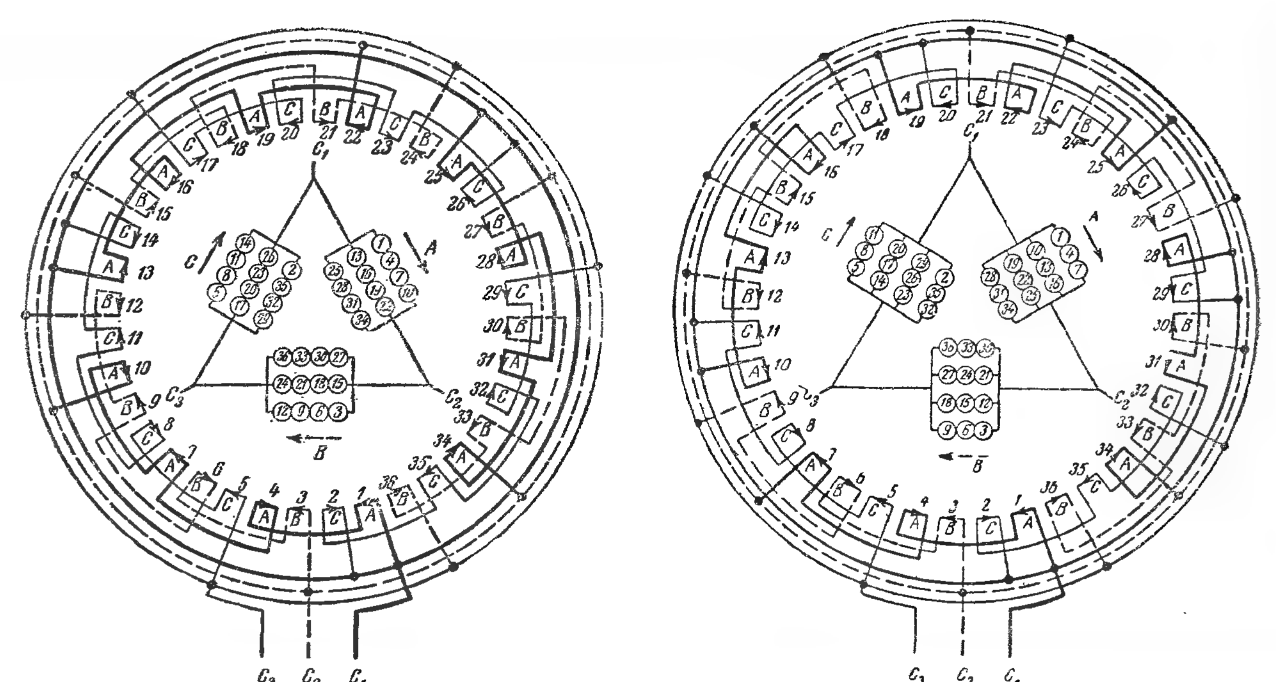


Рис. 3-103. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 3 параллельных треугольника („в — в“).

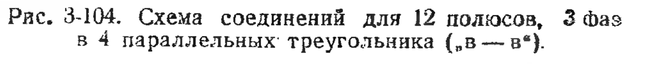


Рис. 3-104. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 4 параллельных треугольника („в — в“).

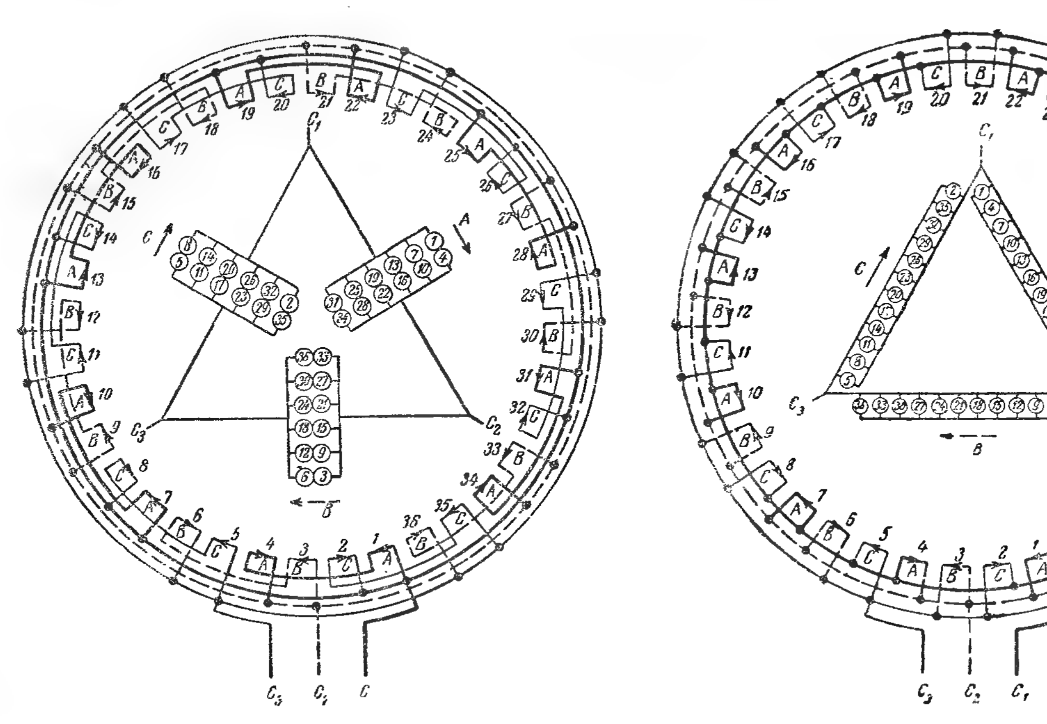


Рис. 3-105. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 6 параллельных треугольников („в — в“).

Рис. 3-106. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 12 параллельных треугольников.

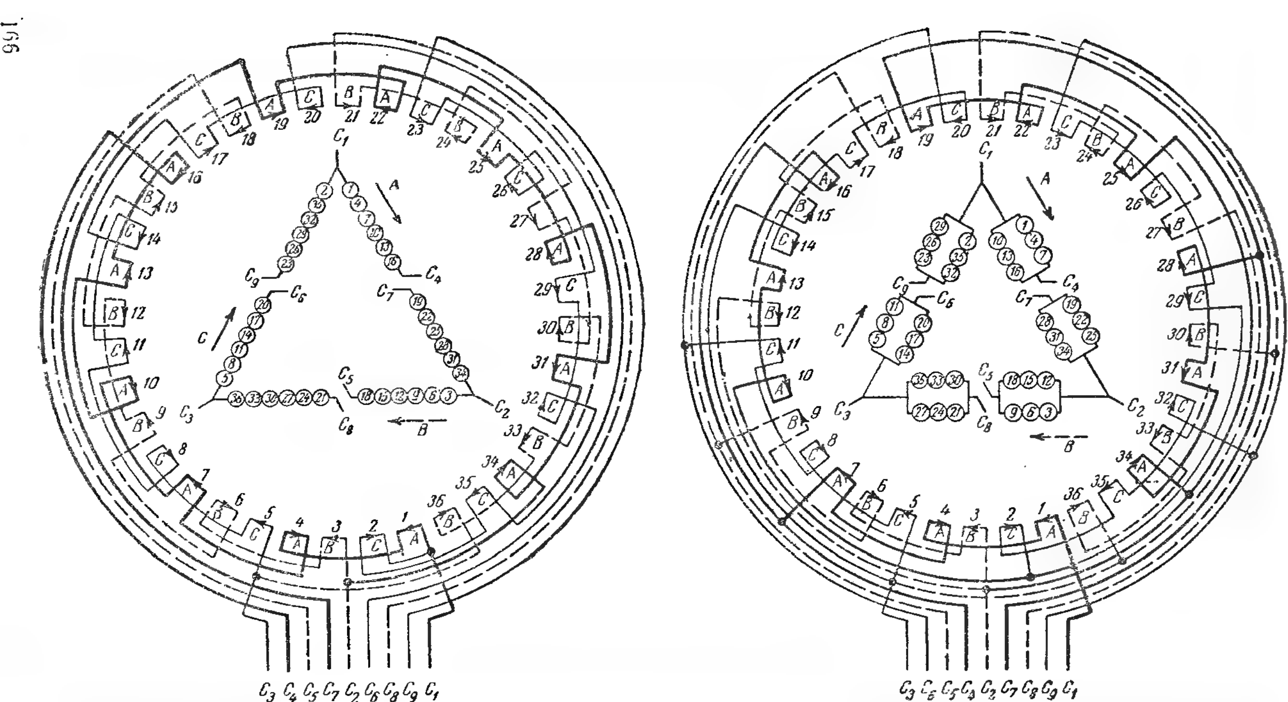
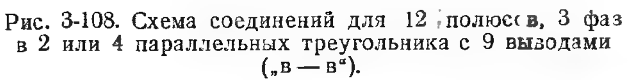


Рис. 3-107. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в треугольник с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельных треугольника („в — в")].

Рис. 3-108. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 2 или 4 параллельных треугольника с 9 выводами („в — в").



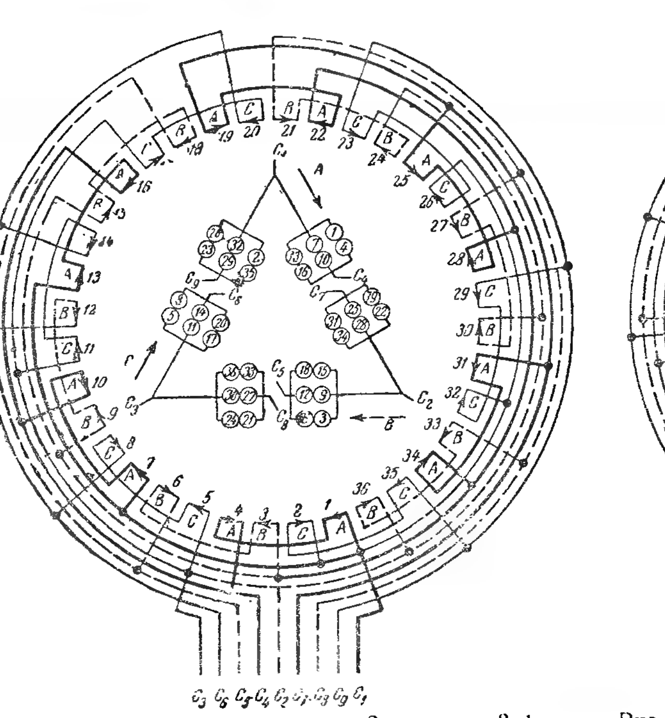


Рис. 3-109. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 3 или 6 параллельных треугольников с 9 выводами („в — в").

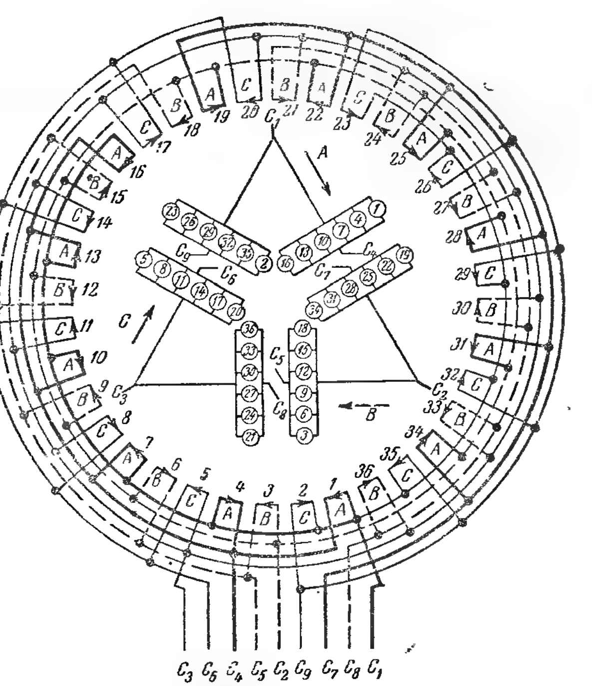


Рис. 3-110. Схема соединений для 12 полюсов, 3 фаз в 6 или 12 параллельных треугольников с 9 выводами.

Таблица 3-15

**Таблица соединений для 12 полюсов и 3 фаз („в—в“)**
(см. схемы соединений на рис. 3-91—3-96 и 3-101—3-106)

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13<br>К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25<br>К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н34 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13<br>К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22→Н25<br>К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 | $C_1$→Н1→Н19 $C_4$→Н16→Н34 |
| | В 3 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13<br>К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25<br>К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 | $C_1$→Н1→Н13→Н25<br>$C_4$→Н10→Н22→Н34 |
| | В 4 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7 ‖ К10 Н10→Н13<br>К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22→Н25<br>К25 ‖ К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 | $C_1$→Н1→К10→Н19→К28<br>$C_4$→К7→Н16→К25→Н34 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13<br>К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25<br>К25→К28 Н28 ‖ Н31 К31→К34 Н34 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25→Н31<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28→Н34 |
| | В 12 параллельных ветвей | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13<br>К13 ‖ К16 Н16 ‖ Н19 К19 ‖ К22 Н22 ‖ Н25<br>К25 ‖ К28 Н28 ‖ Н31 К31 ‖ К34 Н34 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→<br>→Н19→К22→Н25→К28→Н31→К34<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→<br>→К19→Н22→К25→Н28→К31→Н34 |
| В | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 | $C_2$→Н3 $C_5$→Н36 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 | $C_2$→Н3→Н21 $C_5$→Н18→Н36 |
| | В 3 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15<br>К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27<br>К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 | $C_2$→Н3→Н15→Н27<br>$C_5$→Н12→Н24→Н36 |
| | В 4 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9 ‖ К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27 ‖ К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 | $C_2$→Н3→К12→Н21→К30<br>$C_5$→К9→Н18→К27→Н36 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15<br>К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27<br>К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36 |
| | В 12 параллельных ветвей | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15<br>К15 ‖ К18 Н18 ‖ Н21 К21 ‖ К24 Н24 ‖ Н27<br>К27 ‖ К30 Н30 ‖ Н33 К33 ‖ К36 Н36 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→<br>→Н21→К24→Н27→К30→Н33→К36<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→<br>→К21→Н24→К27→Н30→К33→Н36 |
| | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17<br>К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29→К32 Н32→Н35 К35→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму. Н—начало группы. К—конец группы. →соединить с началом или концом группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением. „в—в“—„от верхнего к верхнему“, или „от нижнего к нижнему“, или короткое междугрупповое соединение.

*Продолжение таблицы 3-15*

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| C | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н23 $C_6$→Н20→Н2 |
| | В 3 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н17→Н29 $C_6$→Н14→Н26→Н2 |
| | В 4 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11 ‖ К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29 ‖ К32 Н32→Н35 К35→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К14→Н23→К32 $C_6$→К11→Н20→К29→Н2 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32 ‖ Н35 К35→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35 $C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н2 |
| | В 12 параллельных ветвей | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17 К17 ‖ К20 Н20 ‖ Н23 К23 ‖ К26 Н26 ‖ Н29 К29 ‖ К32 Н32 ‖ Н35 К35 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→ →Н23→К26→Н29→К32→Н35→К2 $C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→ →К23→Н26→К29→Н32→К35→Н2 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.

Соединение △: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму. Н—начало группы. К—конец группы. →соединить с началом или концом группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением. „в—в"—„от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

Рис. 3-111. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в звезду при последовательном соединении групп („в — в").

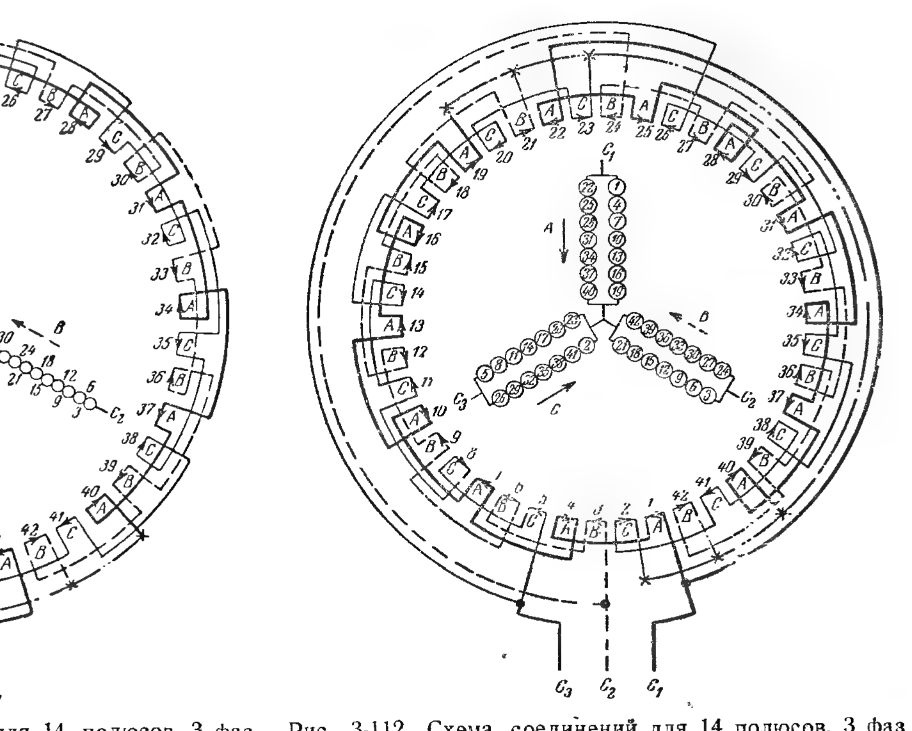


Рис. 3-112. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в 2 параллельные звезды („в — в").

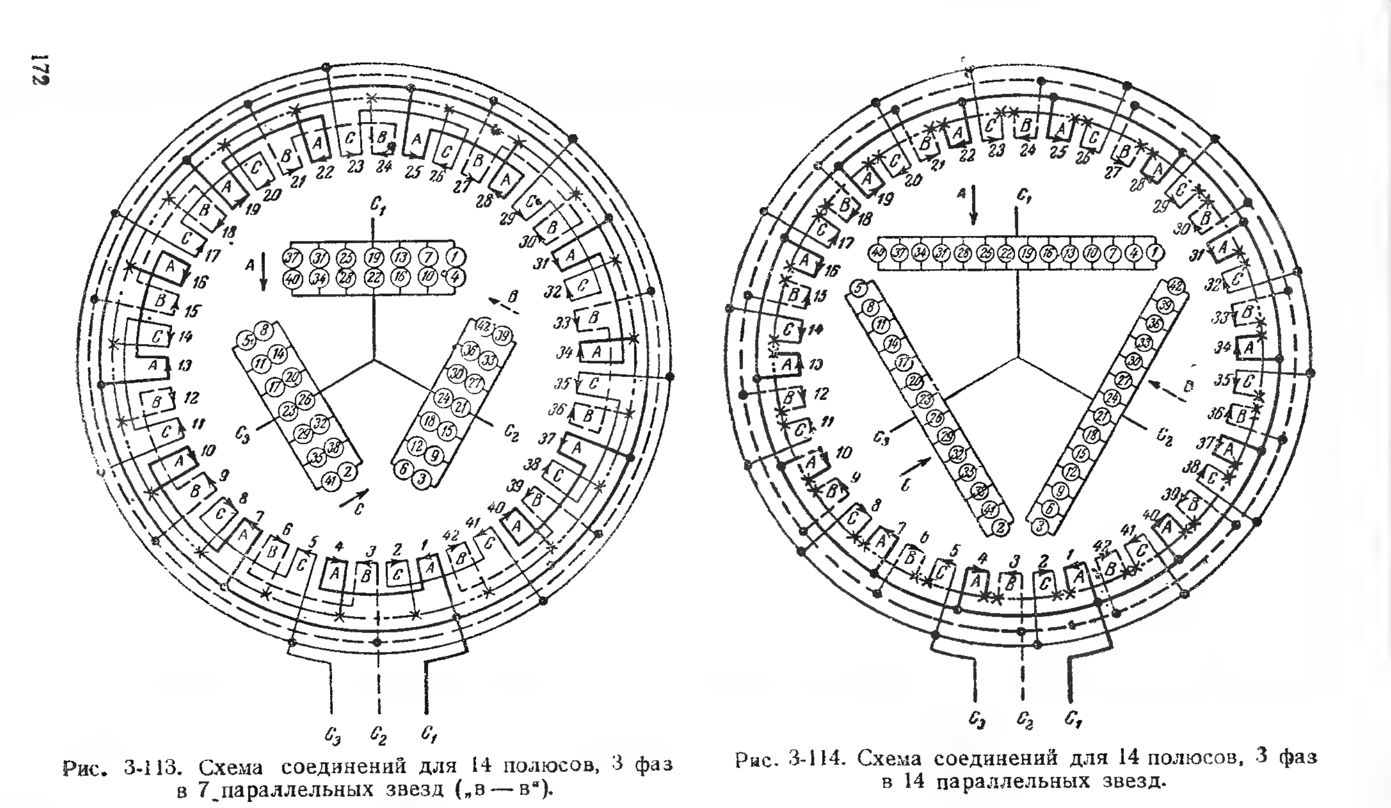


Рис. 3-113. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в 7 параллельных звезд („в — в").

Рис. 3-114. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в 14 параллельных звезд.

Рис. 3-115. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в звезду с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельные звезды („в — в")].

Рис. 3-116. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в 7 или 14 параллельных звезд с 9 выводами.

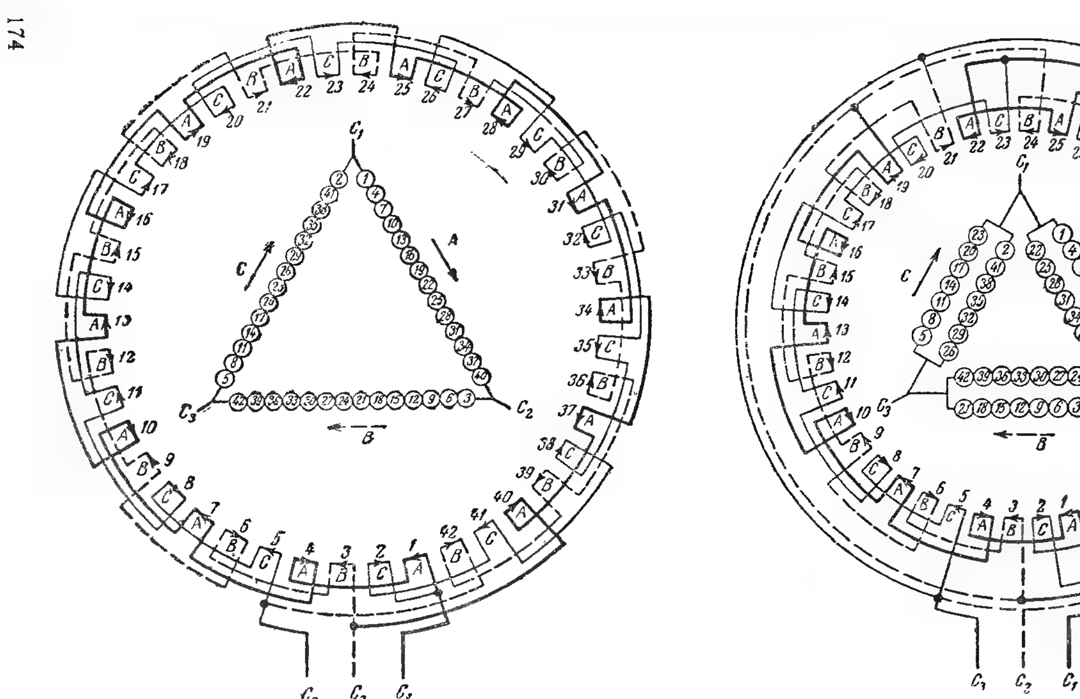


Рис. 3-117. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в треугольник при последовательном соединении групп („в — в“).

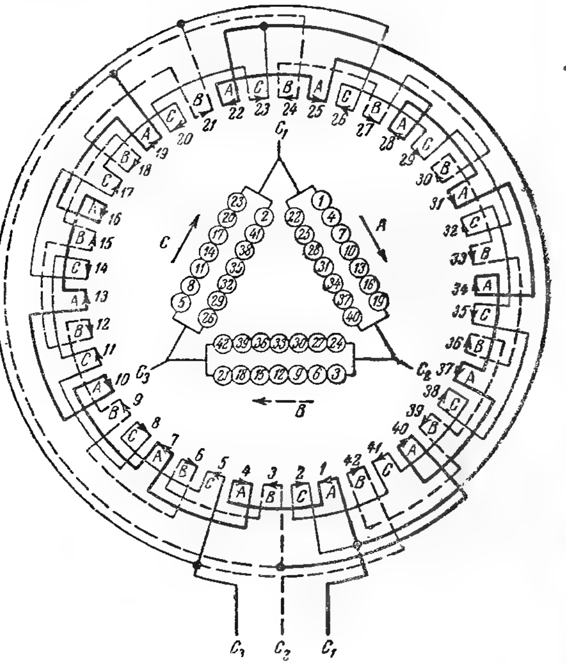


Рис. 3-118. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в 2 параллельных треугольника („в — в“).

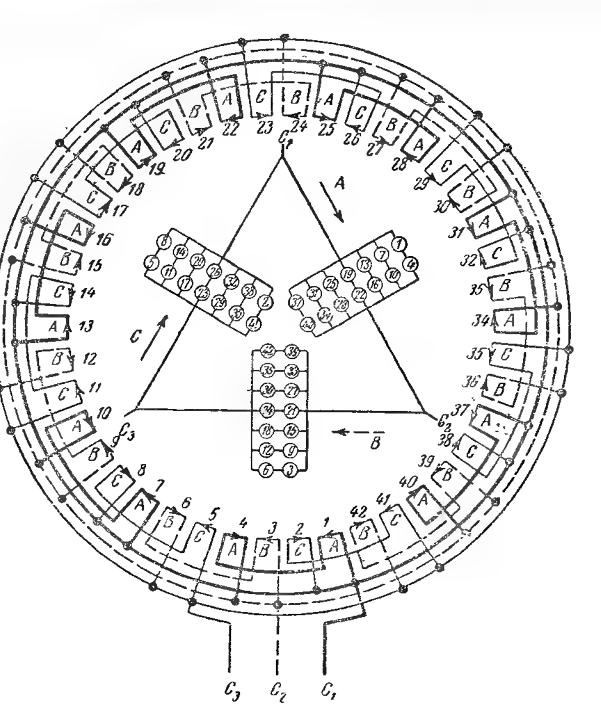


Рис. 3-119. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в 7 параллельных треугольников („в — в“).

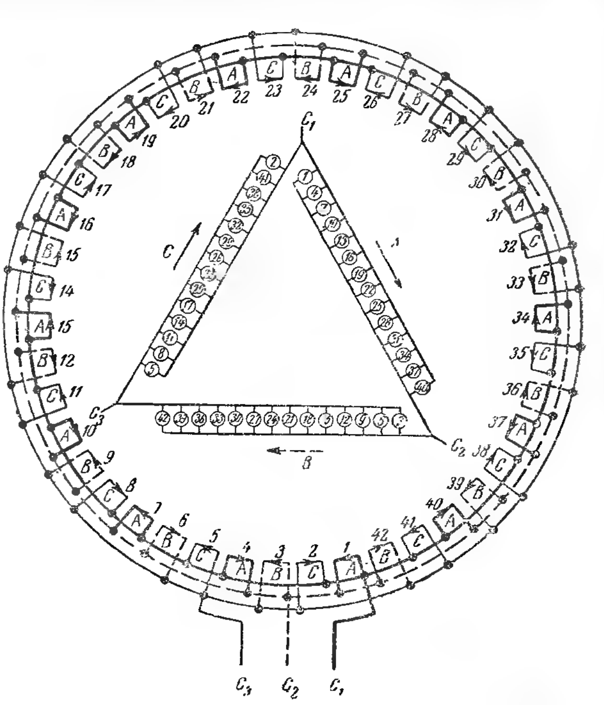


Рис. 3-120. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в 14 параллельных треугольников.

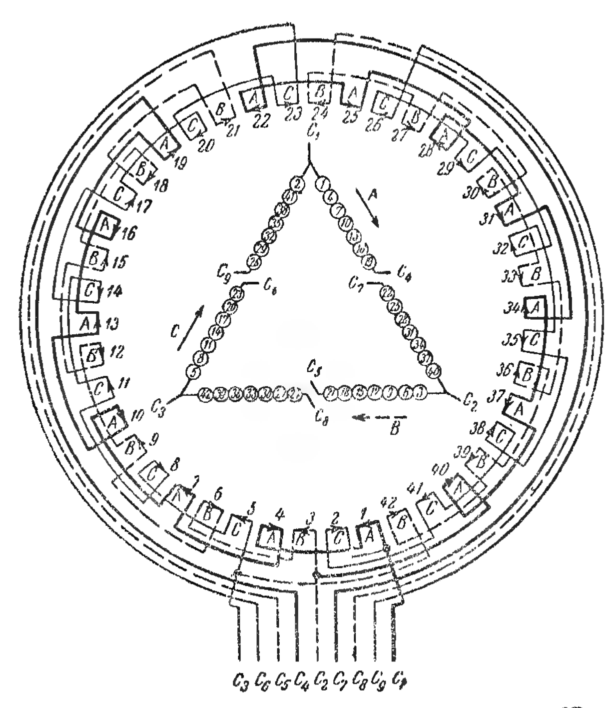



Рис. 3-121. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в треугольник с 9 выводами [для соединения последовательного или в 2 параллельных треугольника („в — в")].



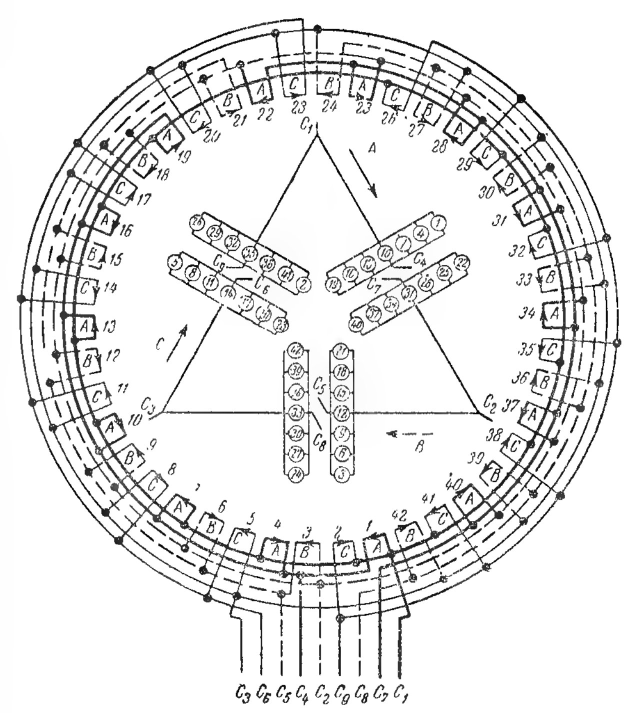



Рис. 3-122. Схема соединений для 14 полюсов, 3 фаз в 7 или 14 параллельных треугольников с 9 выводами.

476—1

Таблица 3-16

**Таблица соединений для 14 полюсов и 3 фаз („в—в“)**

(см. схемы соединений на рис. 3-111—3-114 и 3-117—3-120)

| Фаза | Соединения | | Выводы |
|---|---|---|---|
| A | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н40 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1 →К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19 ‖ К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40 | $C_1$→Н1→К22 $C_4$→К19→Н40 |
| | В 7 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28 ‖ Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37 К37→К40 Н40 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25→Н31→Н37<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28→Н34→Н40 |
| | В 14 параллельных ветвей | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13 К13 ‖ К16 Н16 ‖ Н19 К19 ‖ К22 Н22 ‖ Н25 К25 ‖ К28 Н28 ‖ Н31 К31 ‖ К34 Н34 ‖ Н37 К37 ‖ К40 Н40 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→Н19→К22→Н25→К28→Н31→К34→Н37→К40<br>$C_1$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→К19→Н22→К25→Н28→К31→Н34→К37→Н40 |
| B | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39 К39→К42 Н42 | $C_2$→Н3 $C_5$→Н42 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21 К21 ‖ К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39 К39→К42 Н42 | $C_2$→Н3→К24 $C_5$→К21→Н42 |
| | В 7 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27 К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39 К39→К42 Н42 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33→Н39<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36→Н42 |
| | В 14 параллельных ветвей | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15 К15 ‖ К18 Н18 ‖ Н21 К21 ‖ К24 Н24 ‖ Н27 К27 ‖ К30 Н30 ‖ Н33 К33 ‖ К36 Н36 ‖ Н39 К39 ‖ К4 2 Н42 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→Н21→К24→Н27→К30→Н33→К36→Н39→К42<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→К21→Н24→К27→Н30→К33→Н36→К39→Н42 |
| C | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К32Н3 → 1 35 К35→К38 Н38→Н41 К41→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23 К23 ‖ К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41 К41→К42 Н2 | $C_3$→Н5→К26 $C_6$→К23→Н2 |
| | В 7 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32 ‖ Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41 К41→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35→Н41<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н38→Н2 |
| | В 14 параллельных ветвей | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17 К17 ‖ К20 Н20 ‖ Н23 К23 ‖ К26 Н26 ‖ Н29 К29 ‖ К32 Н32 ‖ Н35 К35 ‖ К38 Н38 ‖ Н41 К41 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→Н23→К26→Н29→К32→Н35→К38→Н41→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→К23→Н26→К29→Н32→К35→Н38→К41→Н2 |

Соединение Y : $C_1$, $C_2$, $C_3$, присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.

Соединение Δ : $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.

Н—начало группы.→ соединить с началом или концом группы.

К—конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.

„в—в“—„от верхнего к верхнему“, или „от нижнего к нижнему“, или короткое междугрупповое соединение.

Таблица 3-17

**Таблица соединений для 16 полюсов и 3 фаз („в—в“)**

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| A | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н46 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46 | $C_1$→Н1→Н25 $C_4$→Н22→Н46 |
| | В 4 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46 | $C_1$→Н1→Н13→Н25→Н37<br>$C_4$→Н10→Н22→Н34→Н46 |
| | В 8 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28 ‖ Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37 К37→К40 Н40 ‖ Н43 К43→К46 Н46 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25→Н31→ →Н37→Н43<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28→Н34→ →Н40→Н46 |
| | В 16 параллельных ветвей | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13 К13 ‖ К16 Н16 ‖ Н19 К19 ‖ К22 Н22 ‖ Н25 К25 ‖ К28 Н28 ‖ Н31 К31 ‖ К34 Н34 ‖ Н37 К37 ‖ К40 Н40 ‖ Н43 К43 ‖ К46 Н46 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→ →Н19→К22→Н25→К28→Н31→К34 →Н37→К40→Н43→К46<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→ →К19→Н22→К25→Н28→К31→Н34 →К37→Н40→К43→Н46 |
| B | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39 К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48 | $C_2$→Н3 $C_5$→Н48 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39 К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48 | $C_2$→Н3→Н27 $C_5$→Н24→Н48 |
| | В 4 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39 К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48 | $C_2$→Н3→Н15→Н27→Н39<br>$C_5$→Н12→Н24→Н36→Н48 |
| | В 8 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27 К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39 К39→К42 Н42 ‖ Н45 К45→К48 Н48 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33→ →Н39→Н45<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36→ →Н42→Н48 |
| | В 16 параллельных ветвей | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15 К15 ‖ К18 Н18 ‖ Н21 К21 ‖ К24 Н24 ‖ Н27 К27 ‖ К30 Н30 ‖ Н33 К33 ‖ К36 Н36 ‖ Н39 К39 ‖ К42 Н42 ‖ Н45 К45 ‖ К48 Н48 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→ →Н21→К24→Н27→К30→Н33→К36 →Н39→К42→Н45→К48<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→ →К21→Н24→К27→Н30→К33→Н36 →К39→Н42→К45→Н48 |
| C | Последовательное | Н5 К5→К8 Н3→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41 К41→К44 Н44→Н47 К47→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |

Соединение Y : $C_1$, $C_2$, $C_3$, присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.

Соединение Δ : $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$,—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.

Н—начало группы. →соединить с началом или концом группы.

К—конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.

„в—в“—„от верхнего к верхнему“, или „от нижнего к нижнему“, или короткое междугрупповое соединение.

*Продолжение таблицы 3-17*

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| С | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41 К41→К44 Н44→Н47 К47→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н29 $C_6$→Н26→Н2 |
| | В 4 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41 К41→К44 Н44→Н47 К47→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н17→Н29→Н41<br>$C_6$→Н14→Н26→Н38→Н2 |
| | В 8 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32 ‖ Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41 К41→К44 Н44 ‖ Н47 К47→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35→→Н41→Н47<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н38→→Н44→Н2 |
| | В 16 параллельных ветвей | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17 К17 ‖ К20 Н20 ‖ Н23 К23 ‖ К26 Н26 ‖ Н29 К29 ‖ К32 Н32 ‖ Н35 К35 ‖ К38 Н38 ‖ Н41 К41 ‖ К44 Н44 ‖ Н47 К47 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→Н23→К26→Н29→К32→Н35→К38→→Н41→К44→Н47→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→→К23→Н26→К29→Н32→К35→Н38→К41→Н44→К47→Н2 |

Соединение Y : $C_1$, $C_3$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение △ : $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы.→соединить с началом или концом группы.
К—конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в" — „от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

Таблица 3-18

## Таблица соединений для 18 полюсов 3 фаз („в—в")

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н52 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25 ‖ К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52 | $C_1$→Н1→К28 $C_4$→К25→Н52 |
| | В 3 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52 | $C_1$→Н1→Н19→Н37<br>$C_4$→Н16→Н34→Н52 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7 ‖ К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25 ‖ К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43 ‖ К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52 | $C_1$→Н1→К10→Н19→К23→Н37→К46<br>$C_4$→К7→Н16→К25→Н34→К43→Н52 |
| | В 9 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28 ‖ Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37 К37→К40 Н40 ‖ Н43 К43→К46 Н46 ‖ Н49 К49→К52 Н52 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25→Н31→→Н37→Н43→Н49<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28→Н34→Н40→Н46→Н52 |

Соединение Y : $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение △ : $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы. → соединить с началом или концом группы.
К—конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в"—„от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | В 18 параллельных ветвей | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13<br>К13 ‖ К16 Н16 ‖ Н19 К19 ‖ К22 Н22 ‖ Н25<br>К25 ‖ К28 Н28 ‖ Н31 К31 ‖ К34 Н34 ‖ Н37<br>К37 ‖ К40 Н40 ‖ Н43 К43 ‖ К46 Н46 ‖ Н49<br>К49 ‖ К52 Н52 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→<br>→Н19→К22→Н25→К28→Н31→К34→<br>→Н37→К40→Н43→К46→Н49→К52<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→<br>→К19→Н22→К25→Н28→К31→Н34→<br>→К37→Н40→К43→Н46→К49→Н52 |
| В | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51<br>К51→К54 Н54 | $C_2$→Н3 $C_5$→Н54 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27 ‖ К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51<br>К51→К54 Н54 | $C_2$→Н3→К30 $C_5$→К27→Н54 |
| | В 3 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51<br>К51→К54 Н54 | $C_2$→Н3→Н21→Н39<br>$C_5$→Н18→Н36→Н54 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9 ‖ К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27 ‖ К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45 ‖ К48 Н48→Н51<br>К51→К54 Н54 | $C_2$→Н3→К12→Н21→К30→Н39→К48<br>$C_5$→К9→Н18→К27→Н36→К45→Н54 |
| В | В 9 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15<br>К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27<br>К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42 ‖ Н45 К45→К48 Н48 ‖ Н51<br>К51→К54 Н54 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33→<br>→Н39→Н45→Н51<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36→<br>→Н42→Н48→Н54 |
| | В 18 параллельных ветвей | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15<br>К15 ‖ К18 Н18 ‖ Н21 К21 ‖ К24 Н24 ‖ Н27<br>К27 ‖ К30 Н30 ‖ Н33 К33 ‖ К36 Н36 ‖ Н39<br>К39 ‖ К42 Н42 ‖ Н45 К45 ‖ К48 Н48 ‖ Н51<br>К51 ‖ К54 Н54 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→<br>→Н21→К24→Н27→К30→Н33→К36<br>→Н39→К42→Н45→К48→Н51→К54<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→<br>→К21→Н24→К27→Н30→К33→Н36<br>→К39→Н42→К45→Н48→К51→Н54 |
| С | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17<br>К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53<br>К53→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17<br>К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29 ‖ К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53<br>К53→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К32 $C_6$→К29→Н2 |

Соединение Y : $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение △ : $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы . →соединить с началом или концом группы.
К—конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
«в—в»—„ от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему" или короткое междугрупповое соединение.

*Продолжение табл. 3-18*

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| С | В 3 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17<br>К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47 ‖ К50 Н50→Н53<br>К53→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н23→Н41<br>$C_6$→Н20→Н38→Н2 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11 ‖ К14 Н14→Н17<br>К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29 ‖ К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47 ‖ К50 Н50→Н53<br>К53→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К14→Н23→К32→Н41→К50<br>$C_6$→К11→Н20→К29→Н38→К47→Н2 |
| | В 9 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17<br>К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26 ‖ Н29<br>К29→К32 Н32 ‖ Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44 ‖ Н47 К47→К50 Н50 ‖ Н53<br>К53→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35→<br>→Н41→Н47→Н53<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н38→<br>→Н44→Н50→Н2 |
| | В 18 параллельных ветвей | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17<br>К17 ‖ К20 Н20 ‖ Н23 К23 ‖ К26 Н26 ‖ Н29<br>К29 ‖ К32 Н32 ‖ Н35 К35 ‖ К38 Н38 ‖ Н41<br>К41 ‖ К44 Н44 ‖ Н47 К47 ‖ К50 Н50 ‖ Н53<br>К53 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→<br>→Н23→К26→Н29→К32→Н35→К38<br>→Н41→К44→Н47→К50→Н53→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→<br>→К23→Н26→К29→Н32→К35→Н38→<br>→К41→Н44→К47→Н50→К53→Н2 |

Соединение Y : $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ : $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы. → соединить с началом или концом группы.
К—конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в"—„от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

Таблица 3-19

**Таблица соединений для 20 полюсов и 3 фаз („в—в")**

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13<br>К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25<br>К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49<br>К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н58 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13<br>К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25<br>К25→К28 Н28 ‖ Н31 К31→К34 Н34→Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49<br>К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58 | $C_1$→Н1→Н31 $C_4$→Н28→Н58 |
| | В 4 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13<br>К13 ‖ К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25<br>К25→К28 Н28 ‖ Н31 К31→К34 Н34→Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43 ‖ К46 Н46→Н49<br>К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58 | $C_1$→Н1→К16→Н31→К46<br>$C_4$→К13→Н28→К43→Н58 |
| | В 5 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13<br>К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25<br>К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46 ‖ Н49<br>К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58 | $C_1$→Н1→Н13→Н25→Н37→Н49<br>$C_4$→Н10→Н22→Н34→Н46→Н58 |
| | В 10 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13<br>К13→К16 Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25<br>К25→К28 Н28 ‖ Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37<br>К37→К40 Н40 ‖ Н43 К43→К46 Н46 ‖ Н49<br>К49→К52 Н52 ‖ Н55 К55→К58 Н58 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25→Н31<br>→Н37→Н43→Н49→Н55<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28→Н34<br>→Н40→Н46→Н52→Н58 |

| Фаза | Соединения | | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | В 20 параллельных ветвей | Н1 К1 ‖ К 4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13<br>К13 ‖ К16 Н16 ‖ Н19 К19 ‖ К22 Н22 ‖ Н25<br>К25 ‖ К28 Н28 ‖ Н31 К31 ‖ К34 Н34 ‖ Н37<br>К37 ‖ К40 Н40 ‖ Н43 К43 ‖ К46 Н46 ‖ Н49<br>К49 ‖ К52 Н52 ‖ Н55 К55 ‖ К58 Н58 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→<br>→Н19→К22→Н25→К28→Н31→К34→<br>→Н37→К40→Н43→К46→Н49→К52→<br>→Н55→К58<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→<br>→К19→Н22→К25→Н28→К31→Н34→<br>→К37→Н40→К43→Н46→К49→Н52→<br>→К55→Н58 |
| В | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51<br>К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60 | $C_2$→Н3 $C_5$→Н60 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51<br>К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60 | $C_2$→Н3→Н33 $C_5$→Н30→Н60 |
| | В 4 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15 ‖ К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45 ‖ К48 Н48→Н51<br>К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60 | $C_2$→Н3→К18→Н33→К48<br>$C_5$→К15→Н30→К45→Н60 |
| | В 5 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15<br>К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27<br>К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48 ‖ Н51<br>К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60 | $C_2$→Н3→Н15→Н27→Н39→Н51<br>$C_5$→Н12→Н24→Н36→Н48→Н60 |
| В | В 10 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15<br>К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27<br>К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42 ‖ Н45 К45→К48 Н48 ‖ Н51<br>К51→К54 Н54 ‖ Н57 К57→К60 Н60 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33<br>→Н39→Н45→Н51→Н57<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36<br>→Н42→Н48→Н54→Н60 |
| | В 20 параллельных ветвей | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15<br>К15 ‖ К18 Н18 ‖ Н21 К21 ‖ К24 Н24 ‖ Н27<br>К27 ‖ К30 Н30 ‖ Н33 К33 ‖ К36 Н36 ‖ Н39<br>К39 ‖ К42 Н42 ‖ Н45 К45 ‖ К48 Н48 ‖ Н51<br>К51 ‖ К54 Н54 ‖ Н57 К57 ‖ К60 Н60 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→<br>→Н21→К24→Н27→К30→Н33→К36<br>→Н39→К42→Н45→К48→Н51→К54<br>→Н57→К60<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→<br>К21→Н24→К27→Н30→К33→Н36→<br>К39→Н42→К45→Н48→К51→Н54→<br>К57→Н60 |
| С | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17<br>К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53<br>К53→К56 Н56→Н59 К59→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17<br>К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29→К32 Н32 ‖ Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53<br>К53→К56 Н56→Н59 К59→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н35 $C_6$→Н32→Н2 |

Соединение Y : $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение △ : $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы. → соединить с началом или концом группы.
К—конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в"—„от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

*Продолжение табл. 3-19*

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| С | В 4 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17<br>К17 ∥ К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29→К32 Н32 ∥ Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47 ∥ К50 Н50→Н53<br>К53→К56 Н56→Н59 К59→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К20→Н35→К50<br>$C_6$→К17→Н32→К47→Н2 |
| | В 5 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14 ∥ Н17<br>К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26 ∥ Н29<br>К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38 ∥ Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50 ∥ Н53<br>К53→К56 Н56→Н59 К59→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н17→Н29→Н41→Н53<br>$C_6$→Н14→Н26→Н38→Н50→Н2 |
| | В 10 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ∥ Н11 К11→К14 Н14 ∥ Н17<br>К17→К20 Н20 ∥ Н23 К23→К26 Н26 ∥ Н29<br>К29→К32 Н32 ∥ Н35 К35→К38 Н38 ∥ Н41<br>К41→К44 Н44 ∥ Н47 К47 ∥ К50 Н50 ∥ Н53<br>К53→К56 Н56 ∥ Н59 К59→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35→<br>→Н41→Н47→Н53→Н59<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н38→<br>→Н44→Н50→Н56→Н2 |
| | В 20 параллельных ветвей | Н5 К5 ∥ К8 Н8 ∥ Н11 К11 ∥ К14 Н14 ∥ Н17<br>К17 ∥ К20 Н20 ∥ Н23 К23 ∥ К26 Н26 ∥ Н29<br>К29 ∥ К32 Н32 ∥ Н35 К35 ∥ К38 Н38 ∥ Н41<br>К41 ∥ К44 Н44 ∥ Н47 К47 ∥ К50 Н50 ∥ Н53<br>К53 ∥ К56 Н56 ∥ Н59 К59 ∥ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→<br>→Н23→К26→Н29→К32→Н35→К38→<br>→Н41→К44→Н47→К50→Н53→К56→<br>→Н59→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→<br>→К23→Н26→К29→Н32→К35→Н38→<br>→К41→Н44→К47→Н50→К53→Н56→<br>→К59→Н2 |

**Соединение Y:** $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
**Соединение Δ :** $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$,—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы. →соединить с началом или концом группы.
К—конец группы. ∥ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в"—„от верхнего к верхнему". или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

476—2

Таблица 3-20

**Таблица соединений для 22 полюсов и 3 фаз („в—в")**

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13<br>К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25<br>К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49<br>К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58→Н61<br>К61→К64 Н64 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н64 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13<br>К13→К16 Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25<br>К25→К28 Н28→Н31 К31 ∥ К34 Н34→Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49<br>К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58→Н61<br>К61→К64 Н64 | $C_1$→Н1→К34 $C_4$→К31→Н64 |
| | В 11 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4 ∥ Н7 К7→К10 Н10 ∥ Н13<br>К13→К16 Н16 ∥ Н19 К19→К22 Н22 ∥ Н25<br>К25→К28 Н28 ∥ Н31 К31→К34 Н34 ∥ Н37<br>К37→К40 Н40 ∥ Н43 К43→К46 Н46 ∥ Н49<br>К49→К52 Н52 ∥ Н55 К55→К58 Н58 ∥ Н61<br>К61→К64 Н64 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25→Н31→<br>→Н37→Н43→Н49→Н55→Н61<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28→Н34<br>→Н40→Н46→Н52→Н58→Н64 |
| | В 22 параллельные ветви | Н1 К1 ∥ К4 Н4 ∥ Н7 К7 ∥ К10 Н10 ∥ Н13<br>К13 ∥ К16 Н16 ∥ Н19 К19 ∥ К22 Н22 ∥ Н25<br>К25 ∥ К28 Н28 ∥ Н31 К31 ∥ К34 Н34 ∥ Н37<br>К37 ∥ К40 Н40 ∥ Н43 К43 ∥ К46 Н46 ∥ Н49<br>К49 ∥ К52 Н52 ∥ Н55 К55 ∥ К58 Н58 ∥ Н61<br>К61 ∥ К64 Н64 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→<br>Н19→К22→Н25→К28→Н31→К34→<br>Н37→К40→Н43→К46→Н49→К52→<br>Н55→К58→Н61→К64<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→<br>→К19→Н22→К25→Н28→К31→<br>→Н34→К37→Н40→К43→Н46→К49<br>→Н52→К55→Н58→К61→Н64 |

*Продолжение таблицы 3-2*

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| В | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51<br>К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60→Н63<br>К63→К66 Н66 | $C_2$→Н2 $C_5$→Н66 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15<br>К15→К18 Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27<br>К27→К30 Н30→Н33 К33 ‖ К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51<br>К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60→Н63<br>К63→К66 Н66 | $C_2$→Н3→К36 $C_5$→К33→Н66 |
| | В 11 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15<br>К15→К18 Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27<br>К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42 ‖ Н45 К45→К48 Н48 ‖ Н51<br>К51→К54 Н54 ‖ Н57 К57→К60 Н60 ‖ Н63<br>К63→К66 Н66 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33→<br>→Н39→Н45→Н51→Н57→Н63<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36<br>Н42→Н48→Н54→Н60→Н66 |
| | В 22 параллельные ветви | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15<br>К15 ‖ К18 Н18 ‖ Н21 К21 ‖ К24 Н24 ‖ Н27<br>К27 ‖ К30 Н30 ‖ Н33 К33 ‖ К36 Н36 ‖ Н39<br>К39 ‖ К42 Н42 ‖ Н45 К45 ‖ К48 Н48 ‖ Н51<br>К51 ‖ К54 Н54 ‖ Н57 К57 ‖ К60 Н60 ‖ Н63<br>К63 ‖ К66 Н66 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→<br>→Н21→К24→Н27→К30→Н33→К36→<br>→Н39→К42→Н45→К48→Н51→К54→<br>→Н57→К60→Н63→К66<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→<br>→К21→Н24→К27→Н30→К33→Н36→<br>→К39→Н42→К45→Н48→К51→Н54→<br>→К57→Н60→К63→Н66 |

*Продолжение таблицы 3-20*

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| С | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17<br>К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53<br>К53→К56 Н56→Н59 К59→К62 Н62→Н65<br>К65→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17<br>К17→К20 Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29<br>К29→К32 Н32→Н35 К35 ‖ К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53<br>К53→К56 Н56→Н59 К59→К62 Н62→Н65<br>К65→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К38 $C_6$→К35→Н2 |
| | В 11 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17<br>К17→К20 Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26 ‖ Н29<br>К29→К32 Н32 ‖ Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44 ‖ Н47 К47→К50 Н50 ‖ Н53<br>К53→К56 Н56 ‖ Н59 К59→К62 Н62 ‖ Н65<br>К65→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35→<br>→Н41→Н47→Н53→Н59→Н65<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н38→<br>→Н44→Н50→Н56→Н62→Н2 |
| | В 22 параллельные ветви | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17<br>К17 ‖ К20 Н20 ‖ Н23 К23 ‖ К26 Н26 ‖ Н29<br>К29 ‖ К32 Н32 ‖ Н35 К35 ‖ К38 Н38 ‖ Н41<br>К41 ‖ К44 Н44 ‖ Н47 К47 ‖ К50 Н50 ‖ Н53<br>К53 ‖ К56 Н56 ‖ Н59 К59 ‖ К62 Н62 ‖ Н65<br>К65 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→<br>→Н23→К26→Н29→К32→Н35→<br>→К38→Н41→К44→Н47→К50→Н53→<br>→К56→Н59→К62→Н65→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→<br>→К23→Н26→К29→Н32→К35→Н38→<br>→К41→Н44→К47→Н50→К53→Н56→<br>→К59→Н62→К65→Н2 |

Соединение Y : $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.

Соединение Δ : $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.

Н—начало группы. → соединить с началом или концом группы.

К—конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.

„в—в"—„от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

Таблица 3-21

## Таблица соединений для 24 полюсов и 3 фаз („в—в“)

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19<br>К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52→Н55<br>К55→К58 Н58→Н61 К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н70 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19<br>К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н35<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52→Н57<br>К55→К58 Н58→Н61 К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70 | $C_1$→Н1→Н37 $C_4$→Н34→Н70 |
| | В 3 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19<br>К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46 ‖ Н49 К49→К52 Н52→Н55<br>К55→К58 Н58→Н61 К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70 | $C_1$→Н1→Н25→Н49<br>$C_4$→Н22→Н46→Н70 |
| | В 4 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19<br>К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52 ‖ Н55<br>К55→К58 Н58→Н61 К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70 | $C_1$→Н1→Н19→Н37→Н55<br>$C_4$→Н16→Н34→Н52→Н70 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16→Н19<br>К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46 ‖ Н49 К49→К52 Н52→Н55<br>К55→К58 Н58 ‖ Н61 К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70 | $C_1$→Н1→Н13→Н25→Н37→Н49→Н61<br>$C_4$→Н10→Н22→Н34→Н46→Н58→Н70 |
| | В 8 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7 ‖ К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19<br>К19→К22 Н22→Н25 К25 ‖ К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43 ‖ К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52 ‖ Н55<br>К55→К58 Н58→Н61 К61 ‖ К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70 | $C_1$→Н1→К10→Н19→К28→Н37→К46→<br>→Н55→К64<br>$C_4$→К7→Н16→К25→Н34→К43→Н52→<br>→К61→Н70 |
| | В 12 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19<br>К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28 ‖ Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37<br>К37→К40 Н40 ‖ Н43 К43→К46 Н46 ‖ Н49 К49→К52 Н52 ‖ Н55<br>К55→К58 Н58 ‖ Н61 К61→К64 Н64 ‖ Н67 К67→К70 Н70 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25→Н31→<br>→Н37→Н43→Н49→Н55→Н61→Н67<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28→Н34→<br>→Н40→Н46→Н52→Н58→Н64→Н70 |
| А | В 24 параллельные ветви | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13 К13 ‖ К16 Н16 ‖ Н19<br>К19 ‖ К22 Н22 ‖ Н25 К25 ‖ К28 Н28 ‖ Н31 К31 ‖ К34 Н34 ‖ Н37<br>К37 ‖ К40 Н40 ‖ Н43 К43 ‖ К46 Н46 ‖ Н49 К49 ‖ К52 Н52 ‖ Н55<br>К55 ‖ К58 Н58 ‖ Н61 К61 ‖ К64 Н64 ‖ Н67 К67 ‖ К70 Н70 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→<br>→Н19→К22→Н25→К28→Н31→К34→<br>→Н37→К40→Н43→К46→Н49→К52→<br>→Н55→К58→Н61→К64→Н67→К70<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→<br>→К19→Н22→К25→Н28→К13→Н31→<br>→К37→Н40→К43→Н46→К49→Н52→<br>→К55→Н58→К61→Н64→К67→Н70 |
| В | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21<br>К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51 К51→К54 Н54→Н57<br>К57→К60 Н60→Н63 К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72 | $C_2$→Н3 $C_5$→Н72 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21<br>К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51 К51→К54 Н54→Н57<br>К57→К60 Н60→Н63 К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72 | $C_2$→Н3→Н39 $C_5$→Н36→Н72 |
| | В 3 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21<br>К21→К24 Н24 ‖ Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48 ‖ Н51 К51→К54 Н54→Н57<br>К57→К60 Н60→Н63 К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72 | $C_2$→Н3→Н27→Н51<br>$C_5$→Н24→Н48→Н72 |
| | В 4 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18 ‖ Н21<br>К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51 К51→К54 Н54 ‖ Н57<br>К57→К60 Н60→Н63 К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72 | $C_2$→Н3→Н21→Н39→Н57<br>$C_5$→Н18→Н36→Н54→Н72 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18 Н18→Н21<br>К21→К24 Н24 ‖ Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48 ‖ Н51 К51→К54 Н54→Н57<br>К57→К60 Н60 ‖ Н63 К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72 | $C_2$→Н3→Н15→Н27→Н39→Н51→Н63<br>$C_5$→Н12→Н24→Н36→Н48→Н60→Н72 |
| | В 8 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9 ‖ К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18 ‖ Н21<br>К21→К24 Н21→Н27 К27 ‖ К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45 ‖ К48 Н48→Н51 К51→К54 Н54 ‖ Н57<br>К57→К60 Н60→Н63 К63 ‖ К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72 | $C_2$→Н3→К12→Н21→К30→Н39→К48→<br>→Н57→К66<br>$C_5$→К9→Н18→К27→Н36→К45→Н54→<br>→К63→Н72 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$ — ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$ — к третьему зажиму.

Н — начало группы. → соединить с началом или концом группы.
К — конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в — в“ — „от верхнего к верхнему“, или „от нижнего к нижнему“, или короткое междугрупповое соединение.

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| В | В 12 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18 Н18 ‖ Н21<br>К21→К24 Н24 ‖ Н27 К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42 ‖ Н45 К45→К48 Н48 ‖ Н51 К51→К54 Н54 ‖ Н57<br>К57→К60 Н60 ‖ Н63 К63→К66 Н66 ‖ Н69 К69→К72 Н72 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33→<br>→Н39→Н45→Н51→Н57→Н63→Н69<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36→<br>→Н42→Н48→Н54→Н60→Н66→Н72 |
| | В 24 параллельные ветви | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15 К15 ‖ К18 Н18 ‖ Н21<br>К21 ‖ К24 Н24 ‖ Н27 К27 ‖ К30 Н30 ‖ Н33 К33 ‖ К36 Н36 ‖ Н39<br>К39 ‖ К42 Н42 ‖ Н45 К45 ‖ К48 Н48 ‖ Н51 К51 ‖ К54 Н54 ‖ Н57<br>К57 ‖ К60 Н60 ‖ Н63 К63 ‖ К66 Н66 ‖ Н69 К69 ‖ К72 Н72 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→<br>→Н21→К24→Н27→К30→Н33→К36→<br>→Н39→К42→Н45→К48→Н51→К54→<br>→Н57→К60→Н63→К66→Н69→К72<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→<br>→К21→Н24→К27→Н30→К33→Н36→<br>→К39→Н42→К45→Н48→К51→Н54→<br>→К57→Н60→К63→Н66→К69→Н72 |
| С | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н41 $C_6$→Н38→Н2 |
| | В 3 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50 ‖ Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н29→Н53<br>$C_6$→Н26→Н50→Н2 |
| С | В 4 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23<br>К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53 К53→К56 Н56 ‖ Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н23→Н41→Н59<br>$C_6$→Н20→Н38→Н56→Н2 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50 ‖ Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62 ‖ Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н17→Н29→Н41→Н53→Н65<br>$C_6$→Н14→Н26→Н38→Н50→Н62→Н2 |
| | В 8 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11 ‖ К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23<br>К23→К26 Н26→Н29 К29 ‖ К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47 ‖ К50 Н50→Н53 К53→К56 Н56 ‖ Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65 ‖ К68 Н68→Н71 К71→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К14→Н23→К32→Н41→К50→<br>→Н59→К68<br>$C_6$→К11→Н20→К29→Н38→К47→Н56→<br>→К65→Н2 |
| | В 12 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23<br>К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32 ‖ Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44 ‖ Н47 К47→К50 Н50 ‖ Н53 К53→К56 Н56 ‖ Н59<br>К59→К62 Н62 ‖ Н65 К65→К68 Н68 ‖ Н71 К71→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35→<br>→Н41→Н47→Н53→Н59→Н65→Н71<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н38→<br>→Н44→Н50→Н56→Н62→Н68→Н2 |
| | В 24 параллельные ветви | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17 К17 ‖ К20 Н20 ‖ Н23<br>К23 ‖ К26 Н26 ‖ Н29 К29 ‖ К32 Н32 ‖ Н35 К35 ‖ К38 Н38 ‖ Н41<br>К41 ‖ К44 Н44 ‖ Н47 К47 ‖ К50 Н50 ‖ Н53 К53 ‖ К56 Н56 ‖ Н59<br>К59 ‖ К62 Н62 ‖ Н65 К65 ‖ К68 Н68 ‖ Н71 К71 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→<br>→Н23→К26→Н29→К32→Н35→К38→<br>→Н41→К44→Н47→К50→Н53→К56→<br>→Н59→К62→Н65→К68→Н71→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→<br>→К23→Н26→К29→Н32→К35→Н38→<br>→К41→Н44→К47→Н50→К53→Н56→<br>→К59→Н62→К65→Н63→К71→Н2 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$ — ко второму зажиму: $C_3$, $C_5$ — к третьему зажиму.
Н — начало группы. → соединить с началом или концом группы.
К — конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в — в" — „от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

Таблица 3-22

## Таблица соединений для 26 полюсов и 3 фаз („в—в“)

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| A | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19<br>К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37<br>К37→К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52→Н55<br>К55→К58 Н58→Н61 К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70→Н73<br>К73→К76 Н76 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н76 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16 Н16→Н19<br>К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31 К31→К34 Н34→Н37<br>К37 ‖ К40 Н40→Н43 К43→К46 Н46→Н49 К49→К52 Н52→Н55<br>К55→К58 Н58→Н61 К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70→Н73<br>К73→К76 Н76 | $C_1$→Н1→К40 $C_4$→К37→Н76 |
| | В 13 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4 ‖ Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16 Н16 ‖ Н19<br>К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28 ‖ Н31 К31→К34 Н34 ‖ Н37<br>К37→К40 Н40 ‖ Н43 К43→К46 Н46 ‖ Н49 К49→К52 Н52 ‖ Н55<br>К55→К58 Н58 ‖ Н61 К61→К64 Н64 ‖ Н67 К67→К70 Н70 ‖ Н73<br>К73→К76 Н76 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25→Н31→Н37→<br>→Н43→Н49→Н55→Н61→Н67→Н73<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28→Н34→<br>→Н40→Н46→Н52→Н58→Н64→Н70→Н76 |
| | В 26 параллельных ветвей | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13 К13 ‖ К16 Н16 ‖ Н19<br>К19 ‖ К22 Н22 ‖ Н25 К25 ‖ К28 Н28 ‖ Н31 К31 ‖ К34 Н34 ‖ Н37<br>К37 ‖ К40 Н40 ‖ Н43 К43 ‖ К46 Н46 ‖ Н49 К49 ‖ К52 Н52 ‖ Н55<br>К55 ‖ К58 Н58 ‖ Н61 К61 ‖ К64 Н64 ‖ Н67 К67 ‖ К70 Н70 ‖ Н73<br>К73 ‖ К76 Н76 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→Н19→<br>→К22→Н25→К28→Н31→К34→Н37→<br>→К40→Н43→К46→Н49→К52→Н55→<br>→К58→Н61→К64→Н67→К70→Н73→К76<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→К19→<br>→Н22→К25→Н28→К31→Н34→К37→<br>→Н40→К43→Н46→К49→Н52→К55→<br>→Н58→К61→Н64→К67→Н70→К73→Н76 |
| B | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21<br>К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39→К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51 К51→К54 Н54→Н57<br>К57→К60 Н60→Н63 К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72→Н75<br>К75→К78 Н78 | $C_2$→Н3 $C_5$→Н78 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18 Н18→Н21<br>К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33 К33→К36 Н36→Н39<br>К39 ‖ К42 Н42→Н45 К45→К48 Н48→Н51 К51→К54 Н54→Н57<br>К57→К60 Н60→Н63 К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72→Н75<br>К75→К78 Н78 | $C_2$→Н3→К42 $C_5$→К39→Н78 |
| | В 13 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18 Н18 ‖ Н21<br>К21→К24 Н24 ‖ Н27 К27→К30 Н30 ‖ Н33 К33→К36 Н36 ‖ Н39<br>К39→К42 Н42 ‖ Н45 К45→К48 Н48 ‖ Н51 К51→К54 Н54 ‖ Н57<br>К57→К60 Н60 ‖ Н63 К63→К66 Н66 ‖ Н69 К69→К72 Н72 ‖ Н75<br>К75→К78 Н78 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33→Н39→<br>→Н45→Н51→Н57→Н63→Н69→Н75<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36→Н42→<br>→Н48→Н54→Н60→Н66→Н72→Н78 |
| | В 26 параллельных ветвей | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15 К15 ‖ К18 Н18 ‖ Н21<br>К21 ‖ К24 Н24 ‖ Н27 К27 ‖ К30 Н30 ‖ Н33 К33 ‖ К36 Н36 ‖ Н39<br>К39 ‖ К42 Н42 ‖ Н45 К45 ‖ К48 Н48 ‖ Н51 К51 ‖ К54 Н54 ‖ Н57<br>К57 ‖ К60 Н60 ‖ Н63 К63 ‖ К66 Н66 ‖ Н69 К69 ‖ К72 Н72 ‖ Н75<br>К75 ‖ К78 Н78 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→Н21→<br>→К24→Н27→К30→Н33→К36→Н39→<br>→К42→Н45→К48→Н51→К54→Н57→К60→<br>→Н63→К66→Н69→К72→Н75→К78<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→К21→<br>→Н24→К27→Н30→К33→Н36→К39→<br>→Н42→К45→Н48→К51→Н54→К57→<br>→Н60→К63→Н66→К69→Н72→К75→Н78 |
| C | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74→Н77<br>К77→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41 ‖ К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74→Н77<br>К77→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К44 $C_6$→К41→Н2 |
| | В 13 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20 Н20 ‖ Н23<br>К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32 ‖ Н35 К35→К38 Н38 ‖ Н41<br>К41→К44 Н44 ‖ Н47 К47→К50 Н50 ‖ Н53 К53→К56 Н56 ‖ Н59<br>К59→К62 Н62 ‖ Н65 К65→К68 Н68 ‖ Н71 К71→К74 Н74 ‖ Н77<br>К77→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35→<br>→Н41→Н47→Н53→Н59→Н65→Н71→Н77<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н38→<br>→Н44→Н50→Н56→Н62→Н68→Н74→Н2 |
| | В 26 параллельных ветвей | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17 К17 ‖ К20 Н20 ‖ Н23<br>К23 ‖ К26 Н26 ‖ Н29 К29 ‖ К32 Н32 ‖ Н35 К35 ‖ К38 Н38 ‖ Н41<br>К41 ‖ К44 Н44 ‖ Н47 К47 ‖ К50 Н50 ‖ Н53 К53 ‖ К56 Н56 ‖ Н59<br>К59 ‖ К62 Н62 ‖ Н65 К65 ‖ К68 Н68 ‖ Н71 К71 ‖ К74 Н74 ‖ Н77<br>К77 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→Н23→<br>→К26→Н29→К32→Н35→К38→Н41→<br>→К44→Н47→К50→Н53→К56→Н59→<br>→К62→Н65→К68→Н71→К74→Н77→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→К23→<br>→Н26→К29→Н32→К35→Н38→К41→<br>→Н44→К47→Н50→К53→Н56→К59→<br>→Н62→К65→Н68→К71→Н74→К77→Н2 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ — соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$ — ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$ — к третьему зажиму.
Н — начало группы, → соединить с началом или концом группы.
К — конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в“ — „от верхнего к верхнему“, или „от нижнего к нижнему“, или короткое междугрупповое соединение.

Таблица 3-23

**Таблица соединений для 28 полюсов и 3 фаз („в — в“)**

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | H1 K1→K4 H4→H7 K7→K10 H10→H13 K13→K16 H16→H19<br>K19→K22 H22→H25 K25→K28 H28→H31 K31→K34 H34→H37<br>K37→K40 H40→H43 K43→K46 H46→H49 K49→K52 H52→H55<br>K55→K58 H58→H61 K61→K64 H64→H67 K67→K70 H70→H73<br>K73→K76 H76→H79 K79→K82 H82 | $C_1$→H1 $C_4$→H82 |
| | В 2 параллельные ветви | H1 K1→K4 H4→H7 K7→K10 H10→H13 K13→K16 H16→H19<br>K19→K22 H22→H25 K25→K28 H28→H31 K31→K34 H34→H37<br>K37→K40 H40 ‖ H43 K43→K46 H46→H49 K49→K52 H52→H55<br>K55→K58 H58→H61 K61→K64 H64→H67 K67→K70 H70→H73<br>K73→K76 H76→H79 K79→K82 H82 | $C_1$→H1→H43 $C_4$→H40→H82 |
| | В 4 параллельные ветви | H1 K1→K4 H4→H7 K7→K10 H10→H13 K13→K16 H16→H19<br>K19 ‖ K22 H22→H25 K25→K28 H28→H31 K31→K34 H34→H37<br>K37→K40 H40 ‖ H43 K43→K46 H46→H49 K49→K52 H52→H55<br>K55→K58 H58→H61 K61 ‖ K64 H64→H67 K67→K70 H70→H73<br>K73→K76 H76→H79 K79→K82 H82 | $C_1$→H1→K22→H43→K64<br>$C_4$→K19→H40→K61→H82 |
| | В 7 параллельных ветвей | H1 K1→K4 H4→H7 K7→K10 H10 ‖ H13 K13→K16 H16→H19<br>K19→K22 H22 ‖ H25 K25→K28 H28→H31 K31→K34 H31 ‖ H37<br>K37→K40 H40→H43 K43→K46 H46 ‖ H49 K49→K52 H52→H55<br>K55→K58 H58 ‖ H61 K61→K64 H64→H67 K67→K70 H70 ‖ H73<br>K73→K76 H76→H79 K79→K82 H82 | $C_1$→H1→H13→H25→H37→H49→H61→H73<br>$C_4$→H10→H22→H34→H46→H58→H70→H82 |
| | В 14 параллельных ветвей | H1 K1→K4 H4 ‖ H7 K7→K10 H10 ‖ H13 K13→K16 H16 ‖ H19<br>K19→K22 H22 ‖ H25 K25→K28 H28 ‖ H31 K31→K34 H34 ‖ H37<br>K37→K40 H40 ‖ H43 K43→K46 H46 ‖ H49 K49→K52 H52 ‖ H55<br>K55→K58 H58 ‖ H61 K61→K64 H64 ‖ H67 K67→K70 H70 ‖ H73<br>K73→K76 H76 ‖ H79 K79→K82 H82 | $C_1$→H1→H7→H13→H19→H25→H31→H37→<br>→H43→H49→H55→H61→H67→H73→H79<br>$C_4$→H4→H10→H16→H22→H28→H34→<br>→H40→H46→H52→H58→H64→H70→<br>→H76→H82 |
| А | В 28 параллельных ветвей | H1 K1 ‖ K4 H4 ‖ H7 K7 ‖ K10 H10 ‖ H13 K13 ‖ K16 H16 ‖ H19<br>K19 ‖ K22 H22 ‖ H25 K25 ‖ K28 H28 ‖ H31 K31 ‖ K34 H34 ‖ H37<br>K37 ‖ K40 H40 ‖ H43 K43 ‖ K46 H46 ‖ H49 K49 ‖ K52 H52 ‖ H55<br>K55 ‖ K58 H58 ‖ H61 K61 ‖ K64 H64 ‖ H67 K67 ‖ K70 H70 ‖ H73<br>K73 ‖ K76 H76 ‖ H79 K79 ‖ K82 H82 | $C_1$→H1→K4→H7→K10→H13→K16→H19→<br>→K22→H25→K28→H31→K34→H37→<br>→K40→H43→K46→H49→K52→H55→<br>→K58→H61→K64→H67→K70→H73→<br>→K76→H79→K82<br>$C_4$→K1→H4→K7→H10→K13→H16→K19→<br>→H22→K25→H28→K31→H34→K37→<br>→H40→K43→H46→K49→H52→K55→<br>→H58→K61→H64→K67→H70→K73→<br>→H76→K79→H82 |
| В | Последовательное | H3 K3→K6 H6→H9 K9→K12 H12→H15 K15→K18 H18→H21<br>K21→K24 H24→H27 K27→K30 H30→H33 K33→K36 H36→H39<br>K39→K42 H42→H45 K45→K48 H48→H51 K51→K54 H54→H57<br>K57→K60 H60→H63 K63→K66 H66→H69 K69→K72 H72→H75<br>K75→K78 H78→H81 K81→K84 H84 | $C_2$→H3 $C_5$→H84 |
| | В 2 параллельные ветви | H3 K3→K6 H6→H9 K9→K12 H12→H15 K15→K18 H18→H21<br>K21→K24 H24→H27 K27→K30 H30→H33 K33→K36 H36→H39<br>K39→K42 H42 ‖ H45 K45→K48 H48→H51 K51→K54 H54→H57<br>K57→K60 H60→H63 K63→K66 H66→H69 K69→K72 H72→H75<br>K75→K78 H78→H81 K81→K84 H84 | $C_2$→H3→H45 $C_5$→H42→H84 |
| | В 4 параллельные ветви | H3 K3→K6 H6→H9 K9→K12 H12→H15 K15→K18 H18→H21<br>K21 ‖ K24 H21→H27 K27→K30 H30→H33 K33→K36 H36→H39<br>K39→K42 H42 ‖ H45 K45→K48 H43→H51 K51→K54 H54→H57<br>K57→K60 H60→H63 K63 ‖ K66 H66→H69 K69→K72 H72→H75<br>K75→K78 H78→H81 K81→K84 H84 | $C_2$→H3→K24→H45→K66<br>$C_5$→K21→H42→K63→H84 |
| | В 7 параллельных ветвей | H3 K3→K6 H6→H9 K9→K12 H12 ‖ H15 K15→K18 H18→H21<br>K21→K24 H24 ‖ H27 K27→K30 H30→H33 K33→K36 H36 ‖ H39<br>K39→K42 H42→H45 K45→K48 H48 ‖ H51 K51→K54 H54→H57<br>K57→K60 H60 ‖ H63 K63→K66 H66→H69 K69→K72 H72 ‖ H75<br>K75→K78 H78→H81 K81→K84 H84 | $C_2$→H3→H15→H27→H39→H51→H63→H75<br>$C_5$→H12→H24→H36→H48→H60→H72→H84 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ — соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$ — ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$ — к третьему зажиму.
Н — начало группы. → соединить с началом или концом группы.
К — конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в — в“ — „от верхнего к верхнему“, или „от нижнего к нижнему“, или короткое междугрупповое соединение.

*Продолжение таблицы 3-23*

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| В | В 14 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6∥Н9 К9→К12 Н12∥Н15 К15→К18 Н18∥Н21<br>К21→К24 Н24∥Н27 К27→К30 Н30∥Н33 К33→К36 Н36∥Н39<br>К39→К42 Н42∥Н45 К45→К48 Н48∥Н51 К51→К54 Н54∥Н57<br>К57→К60 Н60∥Н63 К63→К66 Н66∥Н69 К69→К72 Н72∥Н75<br>К75→К78 Н78∥Н81 К81→К84 Н84 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33→Н39→<br>→Н45→Н51→Н57→Н63→Н69→Н75→Н81<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36→<br>→Н42→Н48→Н54→Н60→Н66→Н72→<br>→Н78→Н84 |
| | В 28 параллельных ветвей | Н3 К3∥К6 Н6∥Н9 К9∥К12 Н12∥Н15 К15∥К18 Н18∥Н21<br>К21∥К24 Н24∥Н27 К27∥К30 Н30∥Н33 К33∥К36 Н36∥Н39<br>К39∥К42 Н42∥Н45 К45∥К48 Н48∥Н51 К51∥К54 Н54∥Н57<br>К57∥К60 Н60∥Н63 К63∥К66 Н66∥Н69 К69∥К72 Н72∥Н75<br>К75∥К78 Н78∥Н81 К81∥К84 Н84 | $C_2$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→Н21→<br>→К24→Н27→К30→Н33→К36→Н39→<br>→К42→Н45→К48→Н51→К54→Н57→<br>→К60→Н63→К66→Н69→К72→Н75→<br>→К78→Н81→К84<br>$C_5$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→К21→<br>→Н24→К27→Н30→К33→Н36→К39→<br>→Н42→К45→Н48→К51→Н54→К57→<br>→Н60→К63→Н66→К69→Н72→К75→<br>→Н78→К81→Н84 |
| С | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74→Н77<br>К77→К80 Н80→Н83 К83→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44∥Н47 К47→К50 Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74→Н77<br>К77→К80 Н80→Н83 К83→К2 Н2 | $C_6$→Н5→Н47 $C_6$→Н44→Н2 |
| | В 4 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23∥К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38→Н41<br>К41→К44 Н44∥Н47 К47→К50 Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62→Н65 К65∥К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74→Н77<br>К77→К80 Н80→Н83 К83→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К26→Н47→К68<br>$C_6$→К23→Н44→К65→Н2 |
| | В 7 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14∥Н17 К17→К20 Н20→Н23<br>К23→К26 Н26∥Н29 К29→К32 Н32→Н35 К35→К38 Н38∥Н41<br>К41→К44 Н44→Н47 К47→К50 Н50∥Н53 К53→К56 Н56→Н59<br>К59→К62 Н62∥Н65 К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74∥Н77<br>К77→К80 Н80→Н83 К83→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н17→Н29→Н41→Н53→Н65→Н77<br>$C_6$→Н14→Н26→Н38→Н50→Н62→Н74→Н2 |
| С | В 14 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8∥Н11 К11→К14 Н14∥Н17 К17→К20 Н20∥Н23<br>К23→К26 Н26∥Н29 К29→К32 Н32∥Н35 К35→К38 Н38∥Н41<br>К41→К44 Н44∥Н47 К47→К50 Н50∥Н53 К53→К56 Н56∥Н59<br>К59→К62 Н62∥Н65 К65→К68 Н68∥Н71 К71→К74 Н74∥Н77<br>К77→К80 Н80∥Н83 К83→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35→<br>→Н41→Н47→Н53→Н59→Н65→Н71→<br>→Н77→Н83<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н38→<br>→Н44→Н50→Н56→Н62→Н68→Н74→<br>→Н80→Н2 |
| | В 28 параллельных ветвей | Н5 К5∥К8 Н8∥Н11 К11∥К14 Н14∥Н17 К17∥К20 Н20∥Н23<br>К23∥К26 Н26∥Н29 К29∥К32 Н32∥Н35 К35∥К38 Н38∥Н41<br>К41∥К44 Н44∥Н47 К47∥К50 Н50∥Н53 К53∥К56 Н56∥Н59<br>К59∥К62 Н62∥Н65 К65∥К68 Н68∥Н71 К71∥К74 Н74∥Н77<br>К77∥К80 Н80∥Н83 К83∥К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→Н23→<br>→К26→Н29→К32→Н35→К38→Н41→<br>→К44→Н47→К50→Н53→К56→Н59→<br>→К62→Н65→К68→Н71→К74→Н77→<br>→К80→Н83→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→К23→<br>→Н26→К29→Н32→К35→Н38→К41→<br>→Н44→К47→Н50→К53→Н56→К59→<br>→Н62→К65→Н68→К71→Н74→К77→<br>→Н80→К83→Н2 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ — соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$ — ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$ — к третьему зажиму.

Н — начало группы. → соединить с началом или концом группы.
К — конец группы. ∥ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в — в" — „от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

Таблица 3-24

## Таблица соединений для 30 полюсов и 3 фаз („в—в“)

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| А | Последовательное | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16<br>Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31<br>К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43→К46<br>Н46→Н49 К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58→Н61<br>К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70→Н73 К73→К76<br>Н76→Н79 К79→К82 Н82→Н85 К85→К88 Н88 | $C_1$→Н1 $C_4$→Н88 |
| | В 2 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16<br>Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31<br>К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43 ‖ К46<br>Н46→Н49 К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58→Н61<br>К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70→Н73 К73→К76<br>Н76→Н79 К79→К82 Н82→Н85 К85→К88 Н88 | $C_1$→Н1→К46 $C_4$→К43→Н88 |
| | В 3 параллельные ветви | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16<br>Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28 ‖ Н31<br>К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43→К46<br>Н46→Н49 К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58 ‖ Н61<br>К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70→Н73 К73→К76<br>Н76→Н79 К79→К82 Н82→Н85 К85→К88 Н88 | $C_1$→Н1→Н31→Н61 $C_4$→Н28→Н58→Н88 |
| | В 5 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13→К16<br>Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28→Н31<br>К31→К34 Н34 ‖ Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43→К46<br>Н46→Н49 К49→К52 Н52 ‖ Н55 К55→К58 Н58→Н61<br>К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70 ‖ Н73 К73→К76<br>Н76→Н79 К79→К82 Н82→Н85 К85→К88 Н88 | $C_1$→Н1→Н19→Н37→Н55→Н73<br>$C_4$→Н16→Н34→Н52→Н70→Н88 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10→Н13 К13 ‖ К16<br>Н16→Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25→К28 Н28 ‖ Н31<br>К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43 ‖ К46<br>Н46→Н49 К49→К52 Н52→Н55 К55→К58 Н58 ‖ Н61<br>К61→К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70→Н73 К73 ‖ К76<br>Н76→Н79 К79→К82 Н82→Н85 К85→К88 Н88 | $C_1$→Н1→К16→Н31→К46→Н61→К76<br>$C_4$→К13→Н28→К43→Н58→К73→Н88 |
| | В 10 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7 ‖ К10 Н10→Н13 К13→К16<br>Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22→Н25 К25 ‖ К28 Н28→Н31<br>К31→К34 Н34 ‖ Н37 К37→К40 Н40→Н43 К43 ‖ К46<br>Н46→Н49 К49→К52 Н52 ‖ Н55 К55→К58 Н58→Н61<br>К61 ‖ К64 Н64→Н67 К67→К70 Н70 ‖ Н73 К73→К76<br>Н76→Н79 К79 ‖ К82 Н82→Н85 К85→К88 Н88 | $C_1$→Н1→К10→Н19→К28→Н37→К46→Н55→К64→Н73→<br>→К82<br>$C_4$→К7→Н16→К25→Н34→К43→Н52→К61→Н70→К79←<br>→Н88 |
| | В 15 параллельных ветвей | Н1 К1→К4 Н4→Н7 К7→К10 Н10 ‖ Н13 К13→К16<br>Н16 ‖ Н19 К19→К22 Н22 ‖ Н25 К25→К28 Н28 ‖ Н31<br>К31→К34 Н34→Н37 К37→К40 Н40 ‖ Н43 К43→К46<br>Н46 ‖ Н49 К49→К52 Н52 ‖ Н55 К55→К58 Н58 ‖ Н61<br>К61→К64 Н64 ‖ Н67 К67→К70 Н70 ‖ Н73 К73→К76<br>Н76 ‖ Н79 К79→К82 Н82 ‖ Н85 К85→К88 Н88 | $C_1$→Н1→Н7→Н13→Н19→Н25→Н31→Н37→Н43→Н49←<br>→Н55→Н61→Н67→Н73→Н79→Н85<br>$C_4$→Н4→Н10→Н16→Н22→Н28→Н34→Н40→Н46→Н52→<br>→Н58→Н64→Н70→Н76→Н82→Н88 |
| | В 30 параллельных ветвей | Н1 К1 ‖ К4 Н4 ‖ Н7 К7 ‖ К10 Н10 ‖ Н13 К13 ‖ К16<br>Н16 ‖ Н19 К19 ‖ К22 Н22 ‖ Н25 К25 ‖ К28 Н28 ‖ Н31<br>К31 ‖ К34 Н34 ‖ Н37 К37 ‖ К40 Н40 ‖ Н43 К43 ‖ К46<br>Н46 ‖ Н49 К49 ‖ К52 Н52 ‖ Н55 К55 ‖ К58 Н58 ‖ Н61<br>К61 ‖ К64 Н64 ‖ Н67 К67 ‖ К70 Н70 ‖ Н73 К73 ‖ К76<br>Н76 ‖ Н79 К79 ‖ К82 Н82 ‖ Н85 К85 ‖ К88 Н88 | $C_1$→Н1→К4→Н7→К10→Н13→К16→Н19→К22→Н25→<br>→К28→Н31→К34→Н37→К40→Н43→К46→Н49→<br>→К52→Н55→К58→Н61→К64→Н67→К70→Н73→<br>→К76→Н79→К82→Н85→К88<br>$C_4$→К1→Н4→К7→Н10→К13→Н16→К19→Н22→К25→<br>→Н28→К31→Н34→К37→Н40→К43→Н46→К49→<br>→Н52→К55→Н58→К61→Н64→К67→Н70→К73→<br>→Н76→К79→Н82→К85→Н88 |
| В | Последовательное | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18<br>Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33<br>К33→К36 Н36→Н39 К39→К42 Н42→Н45 К45→К48<br>Н48→Н51 К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60→Н63<br>К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72→Н75 К75→К78<br>Н78→Н81 К81→К84 Н84→Н87 К87→К90 Н90 | $C_2$→Н3 $C_5$→Н90 |
| | В 2 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18<br>Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33<br>К33→К36 Н36→Н39 К39→К42 Н42→Н45 К45 ‖ К48<br>Н48→Н51 К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60→Н63<br>К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72→Н75 К75→К78<br>Н78→Н81 К81→К84 Н84→Н87 К87→К90 Н90 | $C_2$→Н3→К48 $C_5$→К45→Н90 |
| | В 3 параллельные ветви | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18<br>Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30 ‖ Н33<br>К33→К36 Н36→Н39 К39→К42 Н42→Н45 К45→К48<br>Н48→Н51 К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60 ‖ Н63<br>К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72→Н75 К75→К78<br>Н78→Н81 К81→К84 Н84→Н87 К87→К90 Н90 | $C_2$→Н3→Н33→Н63 $C_5$→Н30→Н60→Н90 |
| | В 5 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15→К18<br>Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30→Н33<br>К33→К36 Н36 ‖ Н39 К39→К42 Н42→Н45 К45→К48<br>Н48→Н51 К51→К54 Н54 ‖ Н57 К57→К60 Н60→Н63<br>К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72 ‖ Н75 К75→К78<br>Н78→Н81 К81→К84 Н84→Н87 К87→К90 Н90 | $C_2$→Н3→Н21→Н39→Н57→Н75<br>$C_5$→Н18→Н36→Н54→Н72→Н90 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$ $C_3$ — присоединить к зажимам (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$, $C_4$—ко второму зажиму; $C_3$ $C_5$ — к третьему зажиму.
Н — начало группы. →соединить с началом или концом группы.
К — конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в — в“ — „от верхнего к верхнему“, или „от нижнего к нижнему“, или короткое междугрупповое соединение.

*Продолжение табл. 3-24*

| Фаза | | Соединения | Выводы |
|---|---|---|---|
| В | В 6 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9→К12 Н12→Н15 К15 ‖ К18<br>Н18→Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27→К30 Н30 ‖ Н33<br>К33→К36 Н36→Н39 К39→К42 Н42→Н45 К45 ‖ К48<br>Н48→Н51 К51→К54 Н54→Н57 К57→К60 Н60 ‖ Н63<br>К63→К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72→Н75 К75 ‖ К78<br>Н78→Н81 К81→К84 Н84→Н87 К87→К90 Н90 | $C_2$→Н3→К18→Н33→К48→Н63→К78<br>$C_5$→К15→Н30→К45→Н60→К75→Н90 |
| | В 10 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6→Н9 К9 ‖ К12 Н12→Н15 К15→К18<br>Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24→Н27 К27 ‖ К30 Н30→Н33<br>К33→К36 Н36 ‖ Н39 К39→К42 Н42→Н45 К45 ‖ К48<br>Н48→Н51 К51→К54 Н54 ‖ Н57 К57→К60 Н60→Н63<br>К63 ‖ К66 Н66→Н69 К69→К72 Н72 ‖ Н75 К75→К78<br>Н78→Н81 К81 ‖ К84 Н84→Н87 К87→К90 Н90 | $C_2$→Н3→К12→Н21→К30→Н39→К48→Н57→К66→Н75→<br>→К84<br>$C_5$→К9→Н18→К27→Н36→К45→Н54→К63→Н72→К81→<br>→Н90 |
| | В 15 параллельных ветвей | Н3 К3→К6 Н6 ‖ Н9 К9→К12 Н12 ‖ Н15 К15→К18<br>Н18 ‖ Н21 К21→К24 Н24 ‖ Н27 К27→К30 Н30 ‖ Н33<br>К33→К36 Н36 ‖ Н39 К39→К42 Н42 ‖ Н45 К45→К48<br>Н48 ‖ Н51 К51→К54 Н54 ‖ Н57 К57→К60 Н60 ‖ Н63<br>К63→К66 Н66 ‖ Н69 К69→К72 Н72 ‖ Н75 К75→К78<br>Н78 ‖ Н81 К81→К84 Н84 ‖ Н87 К87→К90 Н90 | $C_2$→Н3→Н9→Н15→Н21→Н27→Н33→Н39→Н45→Н51→<br>→Н57→Н63→Н69→Н75→Н81→Н87<br>$C_5$→Н6→Н12→Н18→Н24→Н30→Н36→Н42→Н48→<br>→Н54→Н60→Н66→Н72→Н78→Н84→Н90 |
| | В 30 параллельных ветвей | Н3 К3 ‖ К6 Н6 ‖ Н9 К9 ‖ К12 Н12 ‖ Н15 К15 ‖ К18<br>Н18 ‖ Н21 К21 ‖ К24 Н24 ‖ Н27 К27 ‖ К30 Н30 ‖ Н33<br>К33 ‖ К36 Н36 ‖ Н39 К39 ‖ К42 Н42 ‖ Н45 К45 ‖ К48<br>Н48 ‖ Н51 К51 ‖ К54 Н54 ‖ Н57 К57 ‖ К60 Н60 ‖ Н63<br>К63 ‖ К66 Н66 ‖ Н69 К69 ‖ К72 Н72 ‖ Н75 К75 ‖ К78<br>Н78 ‖ Н81 К81 ‖ К84 Н84 ‖ Н87 К87 ‖ К90 Н90 | $C_3$→Н3→К6→Н9→К12→Н15→К18→Н21→К24→Н27→<br>→К30→Н33→К36→Н39→К42→Н45→К48→Н51→<br>→К54→Н57→К60→Н63→К66→Н69→К72→Н75→К78→<br>→Н81→К84→Н87→К90<br>$C_6$→К3→Н6→К9→Н12→К15→Н18→К21→Н24→К27→<br>→Н30→К33→Н36→К39→Н42→К45→Н48→К51→<br>→Н54→К57→Н60→К63→Н66→К69→Н72→К75→<br>→Н78→К81→Н84→К87→Н90 |
| С | Последовательное | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20<br>Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35<br>К35→К38 Н38→Н41 К41→К44 Н44→Н47 К47→К50<br>Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59 К59→К62 Н62→Н65<br>К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74→Н77 К77→К80<br>Н80→Н83 К83→К86 Н86→Н89 К89→К2 Н2 | $C_3$→Н5 $C_6$→Н2 |
| | В 2 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20<br>Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35<br>К35→К38 Н38→Н41 К41→К44 Н44→Н47 К47 ‖ К50<br>Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59 К59→К62 Н62→Н65<br>К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74→Н77 К77→К80<br>Н80→Н83 К83→К86 Н86→Н89 К89→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К50 $C_6$→К47→Н2 |
| | В 3 параллельные ветви | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20<br>Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32 ‖ Н35<br>К35→К38 Н38→Н41 К41→К44 Н44→Н47 К47→К50<br>Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59 К59→К62 Н62 ‖ Н65<br>К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74→Н77 К77→К80<br>Н80→Н83 К83→К86 Н86→Н89 К89→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н35→Н65 $C_6$→Н32→Н62→Н2 |
| | В 5 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17→К20<br>Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32→Н35<br>К35→К38 Н38 ‖ Н41 К41→К44 Н44→Н47 К47→К50<br>Н50→Н53 К53→К56 Н56 ‖ Н59 К59→К62 Н62→Н65<br>К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74 ‖ Н77 К77→К80<br>Н80→Н83 К83→К86 Н86→Н89 К89→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н23→Н41→Н59→Н77<br>$C_6$→Н20→Н38→Н56→Н74→Н2 |
| | В 6 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11→К14 Н14→Н17 К17 ‖ К20<br>Н20→Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29→К32 Н32 ‖ Н35<br>К35→К38 Н38→Н41 К41→К44 Н44→Н47 К47 ‖ К50<br>Н50→Н53 К53→К56 Н56→Н59 К59→К62 Н62 ‖ Н65<br>К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74→Н77 К77 ‖ К80<br>Н80→Н83 К83→К86 Н86→Н89 К89→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К20→Н35→К50→Н65→К80<br>$C_6$→К17→Н32→К47→Н62→К77→Н2 |
| | В 10 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8→Н11 К11 ‖ К14 Н14→Н17 К17→К20<br>Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26→Н29 К29 ‖ К32 Н32→Н35<br>К35→К38 Н38 ‖ Н41 К41→К44 Н44→Н47 К47 ‖ К50<br>Н50→Н53 К53→К56 Н56 ‖ Н59 К59→К62 Н62→Н65<br>К65 ‖ К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74 ‖ Н77 К77→К80<br>Н80→Н83 К83 ‖ К86 Н86→Н89 К89→К2 Н2 | $C_3$→Н5→К14→Н23→К32→Н41→К50→Н59→К68→Н77→<br>→К86<br>$C_6$→К11→Н20→К29→Н38→К47→Н56→К65→Н74→<br>→К83→Н2 |
| | В 15 параллельных ветвей | Н5 К5→К8 Н8 ‖ Н11 К11→К14 Н14 ‖ Н17 К17→К20<br>Н20 ‖ Н23 К23→К26 Н26 ‖ Н29 К29→К32 Н32 ‖ Н35<br>К35→К38 Н38 ‖ Н41 К41→К44 Н44 ‖ Н47 К47→К50<br>Н50 ‖ Н53 К53→К56 Н56 ‖ Н59 К59→К62 Н62 ‖ Н65<br>К65→К68 Н68→Н71 К71→К74 Н74 ‖ Н77 К77→К80<br>Н80 ‖ Н83 К83→К86 Н86 ‖ Н89 К89→К2 Н2 | $C_3$→Н5→Н11→Н17→Н23→Н29→Н35→Н41→Н47→Н53→<br>→Н59→Н65→Н71→Н77→Н83→Н89<br>$C_6$→Н8→Н14→Н20→Н26→Н32→Н38→Н44→Н50→<br>→Н56→Н62→Н68→Н74→Н80→Н86→Н2 |
| | В 30 параллельных ветвей | Н5 К5 ‖ К8 Н8 ‖ Н11 К11 ‖ К14 Н14 ‖ Н17 К17 ‖ К20<br>Н20 ‖ Н23 К23 ‖ К26 Н26 ‖ Н29 К29 ‖ К32 Н32 ‖ Н35<br>К35 ‖ К38 Н38 ‖ Н41 К41 ‖ К44 Н44 ‖ Н47 К47 ‖ К50<br>Н50 ‖ Н53 К53 ‖ К56 Н56 ‖ Н59 К59 ‖ К62 Н62 ‖ Н65<br>К65 ‖ К68 Н68 ‖ Н71 К71 ‖ К74 Н74 ‖ Н77 К77 ‖ К80<br>Н80 ‖ Н83 К83 ‖ К86 Н86 ‖ Н89 К89 ‖ К2 Н2 | $C_3$→Н5→К8→Н11→К14→Н17→К20→Н23→К26→Н29→<br>→К32→Н35→К38→Н41→К44→Н47→К50→Н53→<br>→К56→Н59→К62→Н65→К68→Н71→К74→Н77→<br>→К80→Н83→К86→Н89→К2<br>$C_6$→К5→Н8→К11→Н14→К17→Н20→К23→Н26→К29→<br>→Н32→К35→Н38→К41→Н44→К47→Н50→К53→<br>→Н56→К59→Н62→К65→Н68→К71→Н74→К77→<br>→Н80→К83→Н86→К89→Н2 |

Соединение Y: $C_1$, $C_2$, $C_3$ — присоединить к зажиму (для соединения с сетью); $C_4$, $C_5$, $C_6$ соединить между собой.
Соединение Δ: $C_1$, $C_6$ соединить между собой и присоединить к одному зажиму; $C_2$,$C_4$—ко второму зажиму; $C_3$, $C_5$—к третьему зажиму.
Н—начало группы. → соединить с началом или концом группы.
К — конец группы. ‖ изменить по сравнению с последовательным соединением.
„в—в"—„от верхнего к верхнему", или „от нижнего к нижнему", или короткое междугрупповое соединение.

# ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

# СИММЕТРИЧНЫЕ ПЕТЛЕВЫЕ ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ (СИММЕТРИЧНЫЕ ПЕТЛЕВЫЕ ОБМОТКИ С НЕОДИНАКОВЫМИ ПО ЧИСЛУ КАТУШЕК ГРУППАМИ)

**4-1. Среднее число пазов на полюс и фазу.** Петлевые обмотки, рассмотренные в гл. 3, имеют одинаковое число единичных катушек во всех полюсно-фазных группах. Для них число пазов на полюс и фазу — целое число. Трехфазный 8-полюсный статор с 72 пазами имеет $\frac{72}{3\times8}=3$ паза на полюс и фазу, а каждая полюсно-фазная группа состоит здесь из 3 единичных катушек. Все полюсно-фазные группы одинаковы. Трехфазный 8-полюсный статор с 66 пазами вместо 72 будет иметь $\frac{66}{3\times8}=\frac{11}{4}=2^3/_4$ паза на полюс и фазу. Так как число единичных катушек в полюсно-фазной группе может быть только целым, т. е. полюсно-фазная группа может занимать только целое число пазов, то число $2^3/_4$ может быть реализовано только как среднее число. В каждой фазе получим на каждые 4 из 8 полюсов 3 катушечные группы с 3 единичными катушками и 1 катушечную группу с 2 единичными катушками; среднее число катушек на группу будет $\frac{3+3+3+2}{4}=\frac{11}{4}=2^3/_4$. Таким образом, обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу может быть выполнена, если ее полюсно-фазные группы имеют неодинаковые числа единичных катушек. Такие обмотки называются обмотками с неодинаковыми по числу катушек группами или обмотками с дробным числом пазов на полюс и фазу, так как среднее



число пазов на полюс и фазу для этих обмоток — дробное число.

Основные табл. 3-4 и 3-5 дают средние числа пазов на полюс и фазу для различных чисел пазов и различных чисел полюсов. Табл. 3-4 относится к двухфазным обмоткам, а табл. 3-5 — к трехфазным обмоткам. Например, двухфазная 6-полюсная обмотка с 44 пазами имеет в среднем $3^2/_3$ паза на полюс и фазу, а трехфазная 8-полюсная обмотка с 66 пазами имеет в среднем $2^3/_4$ паза на полюс и фазу. Числа пазов на полюс и фазу, т. е. ППФ, для симметричных обмоток с дробными ППФ напечатаны в таблицах нормальным шрифтом. Значения ППФ для несимметричных обмоток с дробным ППФ — курсивом со звездочкой (см. § 4-3 и 4-6).

**4-2. Схемы соединений и группировка катушек.** Схемы соединений обмоток с дробным ППФ — точно такие же, как и обмоток с целым ППФ; поэтому схема соединений трехфазной 8-полюсной обмотки с $2^3/_4$ паза на полюс и фазу при последовательном соединении групп и соединении фаз звездой будет точно такой же, как и схема соединений трехфазной 8-полюсной обмотки с целым ППФ, представленная на рис. 3-65. Однако, как следует из сказанного в § 4-1, линии, изображающие полюсно-фазные группы, для обмотки с дробным ППФ изображают отдельные полюсно-фазные группы, имеющие различные числа единичных катушек. Например, для трехфазной 8-полюсной обмотки с 66 пазами эти линии изображают полюсно-фазные группы как с 3 единичными катушками, так и с 2 единичными катушками.

Чтобы выполнить соединения обмотки с дробным ППФ, недостаточно иметь схему соединений, но необходимо также знать последовательность чередования больших (бо́льших) и малых (меньших) полюсно-фазных групп вдоль окружности статора или ротора, т. е. группировку катушек.

Трехфазная 8-полюсная статорная обмотка, рассмотренная выше, имеет 8×3=24 (число полюсов×число фаз) полюсно-фазных групп, из которых 18 имеют по 3 единичные катушки и 6 по 2 единичные катушки. Их распределение вдоль окружности статора следующее:

3 3 3 2   3 3 3 2   3 3 3 2   3 3 3 2   3 3 3 2   3 3 3 2.

Отнесем первую группу к фазе *A*, вторая группа должна быть отнесена к фазе *C*, третья — к фазе *B*, четвертая —

снова к фазе $A$ и т. д. соответственно схеме соединений на рис. 3-65. Отсюда можно видеть, что число единичных катушек (или пазов), а также число групп с 3 единичными катушками и число групп с 2 единичными катушками одинаковы для всех 3 фаз. Отметим, что группировка катушек состоит из одинаковых частей распределения (6 в данном случае), повторяющихся определенное число раз (имеющих определенное число повторений). Каждая часть состоит из групп

3 3 3 2.

Если группировка 1 части и число повторений даны (как в табл. 4-2), то тем самым определяется группировка катушек для всей обмотки. Для выполнения обмотки достаточно иметь группировку катушек и схему соединений.

**4-3. Таблицы группировок катушек и как ими пользоваться.** Табл. 4-1 и 4-2 данной главы и табл. 5-1 и 5-2 гл. 5 дают группировку катушек одной части распределения, число повторений этой группировки и число параллельных ветвей. Обмотки с дробным ППФ, рассматриваемые в данной главе, — симметричные обмотки с дробным ППФ; в гл. 5 рассматриваются несимметричные обмотки с дробным ППФ (см. § 4-6).

Пользование табл. 4-1 и 4-2 будет пояснено на некоторых примерах. Рассмотрим двухфазную 10-полюсную обмотку с 68 пазами. Основная табл. 3-4 дает среднее число пазов на полюс и фазу ППФ$=3^2/_5$. Целое число или целая часть этого ППФ есть 3 и дробная часть есть $^2/_5$. Для дроби $^2/_5$ из табл. 4-1 получаем следующую группировку для одной части распределения:

1 0 1 0 0.

Так как целая часть этого ППФ есть 3, то это число надо прибавить ко всем числам, полученным из таблицы, т. е. группировка катушек одной части распределения будет:

4 3 4 3 3.

Далее, из табл. 4-1 находим, что группировка повторяется $2\times\frac{\text{число полюсов}}{5}=2\times\frac{10}{5}=4$ раза. Следовательно, группировка всей обмотки будет:

4 3 4 3 3 4 3 4 3 3 4 3 4 3 3 4 3 4 3 3
*A B A B A B A B A B A B A B A B A B A B.*

Буквы $A$ и $B$ показывают фазы, к которым относятся полюсно-фазные группы.

Табл. 4-1 дает также максимальное возможное число параллельных ветвей. Для обмотки разобранного примера оно равно $\frac{\text{число полюсов}}{5}=\frac{10}{5}=2$, тогда как 10-полюсная петлевая обмотка с целым ППФ имеет максимальное число параллельных ветвей, равное 10.

Рассмотрим далее трехфазную 14-полюсную обмотку с 96 пазами. Основная табл. 3-5 дает среднее число пазов на полюс и фазу $2^2/_7$. Из табл. 4-2 для дроби $2^2/_7$ получаем следующую группировку для одной части распределения:

1 0 0 1 0 0 0.

Так как целая часть данного ППФ есть 2, то это число надо прибавить ко всем числам группировки, полученной из таблицы, т. е. группировка одной части распределения будет:

3 2 2 3 2 2 2.

Далее, из табл. 4-2 находим, что группировка повторяется $3\times\frac{\text{число полюсов}}{7}=3\times\frac{14}{7}=6$ раз. Следовательно, группировка всей обмотки будет:

3 2 2 3 2 2 2 3 2 2 3 2 2 2 3 2 2 3 2 2 2
*A C B A C B A C B A C B A C B A C B A C B*

3 2 2 3 2 2 2 3 2 2 3 2 2 2 3 2 2 3 2 2 2
*A C B A C B A C B A C B A C B A C B A C B.*

Буквы $A$, $C$, $B$ показывают фазы, к которым относятся полюсно-фазные группы. Различные схемы соединений данной обмотки представлены на рис. 3-111, 3-112, 3-115, 3-117, 3-118 и 3-121. Из табл. 4-2 следует, что максимальное возможное число параллельных ветвей равно $\frac{14}{7}=2$.

Начала фаз указываются на схемах соединений, перечисленных выше. Они смещены не точно на $^2/_3$ полюсного деления, как в случае петлевой обмотки с целым ППФ. Несмотря на это, обмотка получается симметричной.

Следовательно, табл. 4-1 и 4-2 с группировками катушек вместе с табл. 3-4 и 3-5 и схемы соединений — все, что требуется для составления полных схем симметричных петлевых обмоток с дробным ППФ. Максимальное число параллельных ветвей, приведенное в табл. 4-1 и 4-2, не зависит от типа междугрупповых соединений (коротких или длинных, см. § 3-5 и 3-10), использованных в двухфазных обмотках и в тех трехфазных обмотках, для которых знаменатель дроби ППФ — нечетный. Для трехфазной обмотки с четным знаменателем дроби максимальное число параллельных ветвей, указанное в табл. 4-2, нужно разделить на 2, если используются длинные соединения. Например, в табл. 4-2 указано, что 4-полюсная обмотка с дробной частью ППФ, равной $^1/_2$, может иметь максимум $^4/_2 = 2$ параллельные ветви. Если используются длинные соединения, то эта обмотка может быть соединена только в $^2/_2=1$ цепь, т. е. последовательно. 8-полюсная обмотка с дробной частью ППФ, равной $^1/_2$, может иметь (согласно табл. 4-2) максимум $^8/_2=4$ параллельные ветви, но если используются длинные соединения, то этот максимум ограничивается $^4/_2=2$ параллельными ветвями. Обмотчик должен убедиться в том, что каждая часть каждой фазы имеет одно и то же число единичных катушек, прежде чем использовать длинные соединения для трехфазной обмотки с параллельными ветвями и четным знаменателем дроби ППФ. Как отмечалось в § 3-3, наиболее часто применяются короткие соединения, и в дальнейшем именно такие соединения имеются в виду, если не сделано особой оговорки. Отметим, что необходимо с некоторой осторожностью применять таблицы, так как не всегда здесь можно избежать опечаток. Последующие параграфы дают дополнительные сведения, которые позволяют проверить правильность таблиц или найти группировку катушек без применения таблиц.

**4-4. Число больших и малых полюсно-фазных групп; число одинаковых частей обмотки.** Само дробное число, равное среднему числу пазов на полюс и фазу, включает в себя значительное количество данных относительно группировки катушек. Рассмотрим снова пример § 4-1, в котором число пазов на полюс и фазу равно $2^3/_4$. Это число лежит между целыми числами 2 и 3, следовательно некоторые полюсно-фазные группы будут иметь 3 единичные катушки, а некоторые 2 единичные катушки. Других катушечных групп не будет. Так как число $2^3/_4$ ближе к 3, чем к 2, то групп с 3 единичными катушками будет больше, чем с 2 единичными катушками; очевидно, что на каждые 4 следующих друг за другом полюса будут приходиться (на фазу) 3 полюсно-фазные группы с 3 единичными катушками и 1 полюсно-фазная группа с 2 единичными катушками; 3 — числитель дроби $^3/_4$, а 1 — разность между знаменателем дроби 4 и ее числителем (4—3=1). Таким образом, числитель дроби представляет собой (на фазу) число больших полюсно-фазных групп, а разность между знаменателем и числителем дроби — число малых полюсно-фазных групп. Знаменатель дроби представляет собой также число полюсов, на протяжении которых имеем соответствующее среднему значению ППФ неодинаковое распределение полюсно-фазных групп. Число одинаковых частей всей обмотки будет равно частному от деления числа полюсов на знаменатель дроби; в рассмотренном примере имеем $^8/_4$, или 2 одинаковые части обмотки.

Отметим, что число повторяющихся частей распределения отличается от числа повторяющихся частей обмотки. Частей распределения в 2 раза больше частей обмотки в двухфазных обмотках и в 3 раза больше частей обмотки в трехфазных обмотках. Таким образом, достаточно найти группировку катушек половины повторяющейся части обмотки для двухфазной обмотки и треть повторяющейся части обмотки для трехфазной обмотки, для того чтобы определить группировку катушек всей обмотки.

Сказанное выше можно пояснить на примере трехфазной 16-полюсной обмотки со 174 пазами. Среднее число пазов на полюс и фазу

$$\frac{174}{3\times16}=\frac{58}{16}=\frac{29}{8}=3^5/_8.$$

Отметим, что число пазов на полюс и фазу должно быть выражено несократимой дробью. Поэтому не следует писать ППФ$=^{58}/_{16}$ или $3^{10}/_{16}$; должно быть ППФ$=3^5/_8$. Это число тогда показывает, что в каждой фазе число полюсно-фазных групп с 4 единичными катушками будет больше числа полюсно-фазных групп с 3 единичными катушками, и далее, что на 8 (знаменатель дроби) следующих друг за другом полюсов будет приходиться, считая на фазу, 5 (числитель дроби) полюсно-фазных групп с бо́льшим числом

катушек и 8—5=3 (знаменатель минус числитель) полюсно-фазные группы с меньшим числом катушек. 8 полюсов дают повторяющуюся часть обмотки. Так как число полюсов равно 16, то получаются 2 повторяющиеся части обмотки.

**4-5. Общие правила.** Если в общем случае ППФ$=b\frac{c}{d}$, где $b$ — целая часть смешанного числа, а $c$ и $d$ — числитель и знаменатель дроби, то $d$ полюсов тогда дают повторяющуюся часть обмотки, в которой на фазу будет $c$ полюсно-фазных групп с $(b+1)$ единичными катушками и $(d-c)$ полюсно-фазных катушек с $b$ единичными катушками. Число повторяющихся частей обмотки равно числу полюсов, поделенному на $d$.

**4-6. Условия симметрии.** Было указано, что в данной главе рассматриваются только симметричные обмотки с дробным ППФ. Для этих обмоток имеем:

$$\frac{\textit{число полюсов}}{d} = \textit{целому числу}; \qquad (1)$$

$$\frac{d}{\textit{число фаз}} = \textit{дробному числу}. \qquad (2)$$

Если эти два условия выполнены, то обмотка будет симметричной, т. е. э. д. с., наведенные в фазах обмотки, будут равны по величине и сдвинуты по фазе одна относительно другой на один и тот же угол. Рассмотрим несколько примеров.

1. Трехфазная 8-полюсная обмотка (см. § 4-1) с ППФ$=2^3/_4$ — симметричная обмотка, так как число полюсов 8, поделенное на $d=4$, дает целое число (2), а знаменатель $d=4$, поделенный на число фаз 3, дает дробное число $(1^1/_3)$.

2. Трехфазная 16-полюсная обмотка (см. § 4-4) с ППФ$=3^5/_8$— симметричная обмотка, так как число полюсов 16, поделенное на знаменатель $d=8$, — целое число, а знаменатель $d=8$, поделенный на число фаз 3, — дробное число.

3. Рассмотрим трехфазную 6-полюсную обмотку с 60 пазами. Среднее число пазов на полюс и фазу

$$\frac{60}{3\times 6}=\frac{20}{6}=\frac{10}{3}=3^1/_3.$$



Эта обмотка является несимметричной, так как знаменатель $d=3$, поделенный на число фаз 3, дает целое число, т. е. второе условие симметрии в данном случае не выполняется. При этом число пазов на фазу $\frac{60}{3}=20$ — целое число. Одинаковое число пазов для всех фаз не является достаточным условием симметрии.

4. Рассмотрим двухфазную 12-полюсную обмотку с 80 пазами. Среднее число пазов на полюс и фазу будет:

$$\frac{80}{2\times 12}=\frac{40}{12}=\frac{10}{3}=3^1/_3.$$

Эта обмотка — симметричная, так как число полюсов 12, поделенное на знаменатель $d=3$, — целое число, а знаменатель $d=3$, поделенный на число фаз 2, — дробное число. Очевидно, что все двухфазные обмотки, у которых знаменатель дроби делится на 2, и все трехфазные обмотки, у которых знаменатель дроби делится на 3, являются несимметричными обмотками.

Несимметричные обмотки обычно избегают применять, так как они могут вызвать вибрации, шум и увеличение потерь в меди. Несимметричные петлевые обмотки, как отмечалось, рассматриваются в гл. 5.

**4-7. Число параллельных ветвей.** В § 4-5 указывалось, что знаменатель дроби $d$ представляет собой число полюсов повторяющейся части обмотки. В примере трехфазной 8-полюсной обмотки с $2^3/_4$ паза на полюс и фазу 4 полюса дают повторяющуюся часть обмотки, т. е. необходимо пройти 4 полюса, чтобы получить обмотку со средним ППФ$=2^3/_4$. Так как мы имеем 8 полюсов, то число повторяющихся частей обмотки равно $8/4=2$. Отсюда следует, что возможны только 2 параллельные ветви в отличие от 8-полюсной петлевой обмотки с целым ППФ, которая может иметь 8 параллельных ветвей. В примере трехфазной 16-полюсной обмотки с ППФ$=3^5/_8$ также возможны только 2 параллельные ветви. В общем случае максимальное возможное число параллельных ветвей равно числу полюсов, поделенному на знаменатель дроби $d$, т. е. равно числу повторяющихся частей обмотки.

Число параллельных ветвей может быть меньше, чем число повторяющихся частей обмотки, но тогда последнее число должно делиться на число параллельных ветвей.

Рассмотрим трехфазную 48-полюсную обмотку с 324 пазами. Среднее число ППФ равно

$$\frac{324}{3\times 48}=\frac{108}{48}=\frac{9}{4}=2^1/_4.$$

$d=4$ полюса дают повторяющуюся часть обмотки, а число повторяющихся частей равно $\frac{48}{4}=12$. Оно также равно максимальному возможному числу параллельных ветвей. Однако каждая фаза может иметь также 2 или 3, или 4, или 6 параллельных ветвей, так как максимальное возможное число параллельных ветвей (12) делится на любое из этих 4 чисел.

Рассмотрим трехфазную 28-полюсную обмотку с 210 пазами. Среднее ППФ $=\frac{210}{3\times 28}=\frac{5}{2}\cdot d=2$ полюса дают повторяющуюся часть обмотки, а число повторяющихся частей обмотки равно $\frac{28}{2}=14$. Оно также равно максимальному возможному числу параллельных ветвей. Однако каждая фаза может иметь также 2 или 7 параллельных ветвей, но не 4. Максимальное возможное число параллельных ветвей делится на 2 и на 7, но не на 4.

**4-8. Составление схемы симметричной двухфазной обмотки.** При составлении схемы обмотки с дробным ППФ необходимо определить последовательность размещения больших и малых полюсно-фазных групп. Недостаточно выполнить условия симметрии, указанные в § 4-6; для того чтобы обмотка была симметричной, необходимо также распределить катушечные группы по окружности статора или ротора в определенной последовательности.

Имеется много методов распределения катушек и получения симметричной обмотки (см. приложение 2). Рассматриваемый в данной главе метод распределения дает группировку катушек, которая наиболее часто используется. Он будет пояснен на примере двухфазного 10-полюсного статора с 68 пазами. Число пазов на полюс и фазу в данном случае будет:

$$\frac{68}{2\times 10}=\frac{34}{10}=\frac{17}{5}=3^2/_5.$$

5 полюсов дают повторяющуюся часть обмотки. Получаются $\frac{10}{5}=2$ повторяющиеся части обмотки. В каждой н а ф а з у имеем $2=c$ полюсно-фазные группы с $4=(b+1)=(3+1)$ единичными катушками и $3=d-c=(5-2)$



полюсно-фазные группы с $3=b$ единичными катушками. Для того чтобы найти распределение групп по окружности статора, следует:

а) написать ряд 1×ППФ, 2×ППФ, 3×ППФ, ..., до $d$×ППФ;

б) отбросить дробные части чисел этого ряда, прибавить 1 к их целым частям, последнее число оставить без изменения;

в) написать 0 (нуль) слева от второго ряда (б), определить разность между соседними числами (последующим и предыдущим).

Последний ряд покажет тогда последовательность полюсно-фазных групп для п о л о в и н ы повторяющейся части обмотки. Для второй половины повторяющейся части обмотки распределение катушек будет точно такое же, как и для первой половины. Для рассмотренного примера эти правила дают следующее:

а) $3^2/_5$ $6^4/_5$ $10^1/_5$ $13^3/_5$ 17;
б) 0 4 7 11 14 17;
в) 4 3 4 3 3.

Последний ряд показывает группировку катушек для одной половины повторяющейся части обмотки. Эта группировка, повторенная дважды, дает распределение полюсно-фазных групп для всей повторяющейся части обмотки:

$$4\ 3\ 4\ 3\ 3\quad 4\ 3\ 4\ 3\ 3. \qquad (Д)$$

Полученные числа, повторенные столько раз, сколько имеется повторяющихся частей обмотки, дают распределение полюсно-фазных групп вдоль всей окружности статора.

Ряд (Д) показывает, что повторяющаяся часть обмотки имеет 4 полюсно-фазные группы с 4 единичными катушками и 6 полюсно-фазных групп с 3 единичными катушками. Предварительно было определено из смешанного числа $3^2/_5$, что каждая фаза должна иметь 2 полюсно-фазные группы с 4 единичными катушками и 3 полюсно-фазные группы с 3 единичными катушками; для обеих фаз это дает 4 полюсно-фазные группы с 4 единичными катушками и 6 полюсно-фазных групп с 3 единичными катушками в соответствии с рядом (Д).

Если первую полюсно-фазную группу ряда (в) или (Д) отнести к фазе $A$, то вторая группа должна быть отнесена к фазе $B$, третья — к фазе $A$ и т. д., как было пояснено в § 3-4 (см., например, рис. 3-1а).

Таким образом, правила, указанные в пп. а), б) и в), позволяют найти для двухфазных обмоток распределение полюсно-фазных групп для половины повторяющейся части обмотки. Повторив ее 2 раза, получим одну повторяющуюся часть обмотки. Повторив последнюю в свою очередь столько раз, сколько имеется повторяющихся частей, получим группировку катушек всей обмотки. Группы, относящиеся к фазам, обозначаются последовательно через $A$ и $B$.

Рассмотрим другой пример двухфазного 28-полюсного статора со 136 пазами. Для соответствующей обмотки получим:

$$\text{ППФ} = \frac{136}{2 \times 28} = \frac{68}{28} = \frac{17}{7} = 2^3/_7.$$

Следовательно,

(а) $2^3/_7$ $4^6/_7$ $7^2/_7$ $9^5/_7$ $12^1/_7$ $14^4/_7$ 17;
(б) 0 3 5 8 10 13 15 17;
(в) 3 2 3 2 3 2 2.

Последний ряд, повторенный дважды, дает группировку катушек для одной повторяющейся части обмотки. Так как имеются $\frac{28}{7} = 4 = \left(\frac{\text{число полюсов}}{d}\right)$ повторяющиеся части обмотки, то чтобы получить распределение катушек всей обмотки, ряд (в) должен быть повторен $2 \times 4 = 8$ раз. Распределение между 2 фазами под различными полюсами для 1 повторяющейся части обмотки будет:

| Фазы | $A$ | $B$ | $A$ | $B$ | $A$ | $B$ | $A$ | $B$ | $A$ | $B$ | $A$ | $B$ | $A$ | $B$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Катушек на группу | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| № полюса | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | |

Следует помнить, что в двухфазной обмотке имеются 2 группы катушек на полюс — по 1 на каждую фазу (см. рис. 3-1а).

**4-9. Начала фаз в двухфазной обмотке.** Как и для обмоток с целым ППФ, начала фаз здесь смещены на 1 полюсно-фазную группу, т. е. за начала фаз здесь можно взять начала 2 следующих друг за другом полюсно-фазных групп. В обмотках с целым ППФ это соответствует половине полюсного деления; в обмотках с дробным ППФ расстояние между началами фаз несколько отличается от половины полюсного деления. Рассмотрим рис. 3-24, на котором представлена обмотка как с целым, так и с дробным ППФ. Здесь начала фаз показаны правильно для обоих типов обмотки.



Однако нет необходимости принимать за начала фаз начала следующих друг за другом полюсно-фазных групп. Начала полюсно-фазных групп *1* и *6* также могут быть использованы как начала фаз. В общем случае в двухфазной обмотке начала фаз должны быть сдвинуты на 1 плюс 0 или (четное число ×2) полюсно-фазных групп.

**4-10. Составление схемы трехфазной обмотки.** Здесь применимы те же самые рассуждения, что и в случае двухфазной обмотки. Задача состоит прежде всего в том, чтобы определить последовательность распределения больших и малых катушечных групп по окружности статора (или ротора). Как и для двухфазной обмотки, будем рассматривать наиболее часто применяемую группировку катушек. Другие группировки катушек, которые также дают симметричные обмотки, рассматриваются в приложении 2.

Группировку катушек рассмотрим на примере трехфазного 20-полюсного статора с 216 пазами. Число пазов на полюс и фазу в этом случае будет:

$$\frac{216}{3 \times 20} = \frac{72}{20} = \frac{18}{5} = 3^3/_5.$$

Пять ($d$) полюсов дают повторяющуюся часть обмотки. Получается $\frac{20}{5} = 4 = \left(\frac{\text{число полюсов}}{d}\right)$ повторяющихся частей обмотки. В каждой части на фазу приходятся 3 ($c$) полюсно-фазные группы с $(b+1) = (3+1) = 4$ единичными катушками и $2 = (d - c) = (5 - 3)$ полюсно-фазные группы с 3 ($b$) единичными катушками. Чтобы найти распределение групп по статору, можно применить те же правила, что и для двухфазных обмоток:

а) написать ряд 1×ППФ, 2×ППФ, 3×ППФ, ..., до $d$×ППФ.

б) Отбросить дробные части чисел этого ряда, прибавить 1 к их целым частям, последнее число оставить без изменения.

в) Написать 0 (нуль) слева от ряда (б), определить разность между соседними числами (последующим и предыдущим).

Последний ряд покажет тогда последовательность катушечных групп для $^1/_3$ повторяющейся части обмотки. Для каждой из других $^2/_3$ группировка катушек будет такой

же самой, как для первой части, т. е. для того чтобы получить группировку катушек для всей повторяющейся части, группировку ряда (в) нужно повторить 3 раза Для рассматриваемого примера правила (а)—(в) дают:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| а) | | $3^3/_5$ | $7^1/_5$ | $10^4/_5$ | $14^2/_5$ | 18; |
| б) | 0 | 4 | 8 | 11 | 15 | 18; |
| в) | | 4 | 4 | 3 | 4 | 3. |

Последний ряд показывает распределение полюсно-фазных групп для $^1/_3$ повторяющейся части обмотки. Это распределение, повторенное 3 раза, дает распределение катушечных групп для всей повторяющейся части обмотки

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Катушек на группу . . . | 4 4 3 | 4 3 4 | 4 3 4 | 3 4 4 | 3 4 3 | (Д') |
| Фазы . . . . . . . . . . | *A C B* | *A C B* | *A C B* | *A C B* | *A C B* | |
| № полюса | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |

Если первая полюсно-фазная группа отнесена к фазе *A*, то вторая полюсно-фазная группа должна быть отнесена к фазе *C*, третья группа — к фазе *B*, четвертая группа — снова к фазе *A* и т. д. в соответствии со схемами соединений гл. 3 (см., например, рис. 3-3*а*).

Для того чтобы найти распределение катушечных групп для всей обмотки, группировку катушек (Д') повторяющейся части обмотки следует повторить столько раз, сколько имеется повторяющихся частей, т. е. в данном случае 4 раза. В общем случае группировка ряда (в) должна быть повторена в трехфазной обмотке $3 \times \left(\frac{\text{число полюсов}}{d}\right)$ раз.

Рассмотрим другой пример трехфазной 14-полюсной обмотки со 108 пазами. Для нее имеем:

$$\text{ППФ} = \frac{108}{3 \times 14} = \frac{36}{14} = \frac{18}{7} = 2^4/_7.$$

Следовательно

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| а) | | $2^4/_7$ | $5^1/_7$ | $7^5/_7$ | $10^2/_7$ | $12^6/_7$ | $15^3/_7$ | 18 |
| б) | 0 | 3 | 6 | 8 | 11 | 13 | 16 | 18 |
| в) | | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| Фазы | | *A* | *C* | *B* | *A* | *C* | *B* | *A* |

Группировка катушек ряда (в), повторенная $3 \times \frac{14}{7} = 6$ раз, дает группировку всей обмотки. Буквы *A*, *C*, *B* показывают, какие полюсно-фазные группы отнесены к отдельным фазам. Схемы соединений данной обмотки приведены на рис. 3-111, 3-112, 3-115, 3-117, 3-118 и 3-121.



**4-11. Начала фаз в трехфазной обмотке.** Как и для петлевых обмоток с целым ППФ, начала фаз сдвинуты на 2 полюсно-фазные группы, т. е. начала любых 3 групп, которые сдвинуты на 2 полюсно-фазные группы, могут быть использованы как начала фаз. Рассмотрим 8-полюсную обмотку (рис. 3-65). Начала фаз — начала полюсно-фазных групп *1*, *3* и *5*. В обмотке с целым ППФ расстояния между началами групп *1* и *3*, а также *3* и *5* точно равны $^2/_3$ полюсного деления. По-другому получается в обмотках с дробным ППФ, так как здесь катушечные группы имеют различные числа катушек. На рис. 3-65 начала групп *1*, *3* и *11* или начала групп *1*, *9* и *17* также могут быть взяты за начала фаз, т. е. любое из начал *1*, *3* и *5* может быть заменено началом группы, принадлежащей той же фазе, но сдвинутой на 6 полюсно-фазных групп. Так, выбирая как начала фаз начала групп *1*, *3* и *11* вместо *1*, *3* и *5*, мы заменяем группу *5* группой *11*, сдвинутой относительно группы *5* на 6 полюсно-фазных групп.

В общем случае в 3-фазных обмотках начала фаз должны быть сдвинуты на 2 плюс 0 или (четное число×3) полюсно-фазных групп.

**4-12. Упрощенный способ составления схем симметричных двухфазной и трехфазной обмоток.** Из предыдущего следует, что дробная часть ППФ определяет число больших и малых полюсно-фазных групп и только дробная часть ППФ определяет также группировку катушек одной части распределения обмотки ($^1/_2$ повторяющейся части обмотки и $^1/_3$ повторяющейся части обмотки соответственно для двухфазной и трехфазной обмоток). В качестве примера рассмотрим 3-фазную 14-полюсную обмотку (см. § 4-10) с 2 различными числами пазов, а именно с 108 пазами, как ранее, и с 66 пазами. Для 108 пазов ППФ $= 2^4/_7$; для 66 пазов $\text{ППФ} = \frac{66}{3 \times 14} = \frac{22}{14} = \frac{11}{7} = 1^4/_7$.

Применяя указанный выше метод, получим группировку катушек повторяющейся части распределения:

| | |
|---|---|
| 3 3 2 3 2 3 2 | для ППФ $= 2^4/_7$; |
| 2 2 1 2 1 2 1 | для ППФ $= 1^4/_7$. |

Группировка для ППФ $= 1^4/_7$ может быть получена из группировки для ППФ $= 2^4/_7$ вычитанием 1 из всех чисел последней, и обратно, группировка для ППФ $= 2^4/_7$ может быть получена из группировки для ППФ $= 1^4/_7$ прибавлением 1 ко всем числам, соответствующим ППФ $= 1^4/_7$.

Из этого примера можно видеть, что распределение больших и малых полюсно-фазных групп определяется только дробной частью ППФ. Целая часть ППФ определяет только числа катушек в группах, но не группировку. Отсюда следует, что группировка может быть определена для одной дробной части и после этого целая часть ППФ прибавлена к числам, найденным для дробной части.

Снова обратимся к трехфазной 14-полюсной обмотке со 108 пазами (см. § 4-10). Здесь ППФ $= 2^4/_7$. Дробная часть — $^4/_7$. Применяя метод, указанный ранее, получим последовательность чередования больших и малых катушечных групп для $^1/_3$ повторяющейся части обмотки:

а) $^4/_7$ $1^1/_7$ $1^5/_7$ $2^2/_7$ $2^6/_7$ $3^3/_7$ 4;
б) 0 1 2 2 3 3 4 4;
в) 1 1 0 1 0 1 0.

Ряд (в) показывает последовательность больших и малых полюсно-фазных групп. Прибавляя 2 ко всем числам ряда (в), т. е. целую часть ППФ, получим группировку катушек с правильными числами катушек в группах:

3 3 2 3 2 3 2.

Этот результат соответствует тому, что было получено в § 4-10.

Табл. 4-1 и 4-2 составлены на основе соотношений данного параграфа. Они дают **только последовательность** чередования больших и малых полюсно-фазных групп. Для того чтобы определить группировку при реальных числах единичных катушек в группах, надо к числам, приведенным в таблицах, прибавить целую часть ППФ.

Таблица 4-1

**Группировка катушек для 2-фазных обмоток**

| Дробная часть ППФ | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Группировка катушек повторяется (2×число полюсов) раз, разделенное на | Максимальное число параллельных ветвей равно числу полюсов, разделенному на |
|---|---|---|---|
| $^1/_3$<br>$^2/_3$ | 1 0 0<br>1 1 0 | 3 | 3 |
| $^1/_5$<br>$^2/_5$<br>$^3/_5$<br>$^4/_5$ | 1 0 0 0 0<br>1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0<br>1 1 1 1 0 | 5 | 5 |
| $^1/_7$<br>$^2/_7$<br>$^3/_7$<br>$^4/_7$<br>$^5/_7$<br>$^6/_7$ | 1 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 1 0 0 0<br>1 0 1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0 1 0<br>1 1 1 0 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 0 | 7 | 7 |
| $^1/_9$<br>$^2/_9$<br>$^4/_9$<br>$^5/_9$<br>$^7/_9$<br>$^8/_9$ | 1 0 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 0<br>1 0 1 0 1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0 1 0 1 0<br>1 1 1 1 0 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 9 | 9 |
| $^1/_{11}$<br>$^2/_{11}$<br>$^3/_{11}$<br>$^4/_{11}$<br>$^5/_{11}$<br>$^6/_{11}$<br>$^7/_{11}$<br>$^8/_{11}$<br>$^9/_{11}$<br>$^{10}/_{11}$ | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0<br>1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0<br>1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0<br>1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0<br>1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0<br>1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0<br>1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 11 | 11 |
| $^1/_{13}$<br>$^2/_{13}$<br>$^3/_{13}$<br>$^4/_{13}$<br>$^5/_{13}$<br>$^6/_{13}$<br>$^7/_{13}$<br>$^8/_{13}$<br>$^9/_{13}$<br>$^{10}/_{13}$<br>$^{11}/_{13}$<br>$^{12}/_{13}$ | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0<br>1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0<br>1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0<br>1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0<br>1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0<br>1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0<br>1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 13 | 13 |

Группировка катушек приведена применительно к **дробной части** ППФ.

Чтобы определить группировку для ППФ, равного **дробной части плюс целое число**, надо целое число прибавить к значениям, приведенным в таблице группировки катушек.

Таблица 4-2

**Группировка катушек для 3-фазных обмоток**

| Дробная часть ППФ | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Группировка катушек повторяется (3×число полюсов) раз, разделенное на | Максимальное число параллельных ветвей равно числу полюсов, разделенному на |
|---|---|---|---|
| 1/2 | 1 0 | 2 | 2 |
| 1/4<br>3/4 | 1 0 0 0<br>1 1 1 0 | 4 | 4 |
| 1/5<br>2/5<br>3/5<br>4/5 | 1 0 0 0 0<br>1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0<br>1 1 1 1 0 | 5 | 5 |
| 1/7<br>2/7<br>3/7<br>4/7<br>5/7<br>6/7 | 1 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 1 0 0 0<br>1 0 1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0 1 0<br>1 1 1 0 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 0 | 7 | 7 |
| 1/8<br>3/8<br>5/8<br>7/8 | 1 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 1 0 0 1 0 0<br>1 1 0 1 1 0 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 0 | 8 | 8 |
| 1/10<br>3/10<br>7/10<br>9/10 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 1 0 0 1 0 0 0<br>1 1 1 0 1 1 0 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 10 | 10 |
| 1/11<br>2/11<br>3/11<br>4/11<br>5/11<br>6/11<br>7/11<br>8/11<br>9/11<br>10/11 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0<br>1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0<br>1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0<br>1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0<br>1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0<br>1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0<br>1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 11 | 11 |
| 1/13<br>2/13<br>3/13<br>4/13<br>5/13<br>6/13<br>7/13<br>8/13<br>9/13<br>10/13<br>11/13<br>12/13 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0<br>1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0<br>1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0<br>1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0<br>1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0<br>1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0<br>1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 13 | 13 |
| 1/14<br>3/14<br>5/14<br>9/14<br>11/14<br>13/14 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0<br>1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0<br>1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0<br>1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 14 | 14 |

Группировка катушек приведена применительно к дробной части ППФ. Чтобы определить группировку для ППФ, равного дробной части плюс целое число, надо целое число прибавить к значениям, приведенным в таблице группировки катушек.

Примечание. Максимальное число параллельных ветвей равно половине числа, указанного в таблице, если используются длинные междугрупповые („в—н") соединения для обмоток, имеющих четный знаменатель в дробной части ППФ (см. § 4-3).

*Продолжение табл. 4-2*

| Дробная часть ППФ | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Группировка катушек повторяется (3Х число полюсов) раз, разделенное на | Максимальное число параллельных ветвей равно числу полюсов, разделенному на |
|---|---|---|---|
| 1/16 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 16 | 16 |
| 3/16 | 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 | | |
| 5/16 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 7/16 | 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 9/16 | 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 11/16 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | | |
| 13/16 | 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 | | |
| 15/16 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 1/17 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 17 | 17 |
| 2/17 | 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 3/17 | 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 | | |
| 4/17 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 | | |
| 5/17 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 6/17 | 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 7/17 | 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 | | |
| 8/17 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 9/17 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 10/17 | 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 | | |
| 11/17 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 12/17 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | | |
| 13/17 | 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 | | |
| 14/17 | 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 | | |
| 15/17 | 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 16/17 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 1/19 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 19 | 19 |
| 2/19 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 3/19 | 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 | | |
| 4/19 | 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 | | |
| 5/19 | 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 | | |
| 6/19 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 7/19 | 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 8/19 | 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 | | |
| 9/19 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 10/19 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 11/19 | 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 | | |
| 12/19 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 13/19 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | | |
| 14/19 | 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 | | |
| 15/19 | 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 | | |
| 16/19 | 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 | | |
| 17/19 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 18/19 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 1/20 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 20 | 20 |
| 3/20 | 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 | | |
| 7/20 | 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 9/20 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 11/20 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 13/20 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 17/20 | 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 | | |
| 19/20 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |

15*

Группировка катушек приведена применительно к **дробной части** ППФ. Чтобы определить группировку для ППФ, равного **дробной части плюс целое число**, надо целое число прибавить к значениям, приведенным в таблице группировки катушек.

Примечание. Максимальное число параллельных ветвей равно половине числа, указанного в таблице, если используются длинные междугрупповые („в—н") соединения для обмоток, имеющих четный знаменатель в дробной части ППФ (см. § 4-3).

*Продолжение табл. 4-2*

| Дробная часть ППФ | Группирсвка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Группировка катушек повторяется (3× число полюсов) раз, разделенное на | Максимальное число параллельных ветвей равно числу полюсов, разделенному на |
|---|---|---|---|
| 1/22 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 22 | 22 |
| 3/22 | 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 5/22 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 | | |
| 7/22 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 9/22 | 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 | | |
| 13/22 | 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 | | |
| 15/22 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | | |
| 17/22 | 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 | | |
| 19/22 | 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 21/22 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 1/23 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 23 | 23 |
| 2/23 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 3/23 | 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 4/23 | 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 | | |
| 5/23 | 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 | | |
| 6/23 | 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 | | |
| 7/23 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 8/23 | 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 9/23 | 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 10/23 | 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 11/23 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 12/23 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 13/23 | 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 14/23 | 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 15/23 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 16/23 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | | |
| 17/23 | 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 | | |
| 18/23 | 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 | 23 | 23 |
| 19/23 | 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 | | |
| 20/23 | 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 21/23 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 22/23 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 1/25 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 25 | 25 |
| 2/25 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 3/25 | 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 4/25 | 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 | | |
| 6/25 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 | | |
| 7/25 | 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 | | |
| 8/25 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 9/25 | 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 11/25 | 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 12/25 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 13/25 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 14/25 | 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 16/25 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 17/25 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | | |
| 18/25 | 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 | | |
| 19/25 | 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 | | |
| 21/25 | 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 | | |
| 22/25 | 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 23/25 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 24/25 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 1/26 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 26 | 26 |
| 3/26 | 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 5/26 | 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 | | |
| 7/26 | 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 | | |

Группировка катушек приведена применительно к дробной части ППФ. Чтобы определить группировку для ППФ, равного дробной части плюс целое число, надо целое число прибавить к значениям, приведенным в таблице группировки катушек.

Примечание. Максимальное число параллельных ветвей равно половине числа, указанного в таблице, если используются длинные междугрупповые („в—н") соединения для обмоток, имеющих четный знаменатель в дробной части ППФ (см. § 4-3).

*Продолжение табл. 4-2*

| Дробная часть ППФ | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Группировка катушек повторяется (3 × число полюсов) раз, разделенное на | Максимальное число параллельных ветвей равно числу полюсов, разделенному на |
|---|---|---|---|
| 9/26 | 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 | 26 | 26 |
| 11/26 | 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 | | |
| 15/26 | 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 | | |
| 17/26 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 19/26 | 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 | | |
| 21/26 | 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 | | |
| 23/26 | 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 25/26 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 1/28 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 28 | 28 |
| 3/28 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 5/28 | 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 | | |
| 9/28 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 11/28 | 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 13/28 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 15/28 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 17/28 | 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 19/28 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | | |
| 23/28 | 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 | | |
| 25/28 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 27/28 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 1/29 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 29 | 29 |
| 2/29 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 3/29 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 4/29 | 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 5/29 | 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 | | |
| 6/29 | 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 | | |
| 7/29 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 | 29 | 29 |
| 8/29 | 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 | | |
| 9/29 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 10/29 | 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 11/29 | 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 12/29 | 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 | | |
| 13/29 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 14/29 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 15/29 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 16/29 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 17/29 | 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 | | |
| 18/29 | 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 19/29 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 20/29 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | | |
| 21/29 | 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 | | |
| 22/29 | 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 | | |
| 23/29 | 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 | | |
| 24/29 | 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 | | |
| 25/29 | 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 26/29 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 27/29 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 28/29 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 1/31 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 31 | 31 |
| 2/31 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 3/31 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 4/31 | 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 | | |
| 5/31 | 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 | | |
| 6/31 | 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 | | |
| 7/31 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 | | |
| 8/31 | 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 | | |

Группировка катушек приведена применительно к дробной части ППФ. Чтобы определить группировку для ППФ, равного дробной части плюс целое число, надо целое число прибавить к значениям, приведенным в таблице группировки катушек.

Примечание. Максимальное число параллельных ветвей равно половине числа, указанного в таблице, если используются длинные междугрупповые („в—н") соединения для обмоток, имеющих четный знаменатель в дробной части ППФ (см. § 4-3).

*Продолжение табл. 4-2*

| Дробная часть ППФ | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Группировка катушек повторяется (3× число полюсов) раз, разделенное на | Максимальное число параллельных ветвей равно числу полюсов, разделенному на |
|---|---|---|---|
| 9/31 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 10/31 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | | |
| 11/31 | 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 12/31 | 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 | | |
| 13/31 | 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 | | |
| 14/31 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 15/31 | 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 | | |
| 16/31 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 17/31 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 | | |
| 18/31 | 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 | | |
| 19/31 | 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 20/31 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 | | |
| 21/31 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | 31 | 31 |
| 22/31 | 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | | |
| 23/31 | 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 | | |
| 24/31 | 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 | | |
| 25/31 | 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 | | |
| 26/31 | 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 | | |
| 27/31 | 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 28/31 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 29/31 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |
| 30/31 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | | |

Группировка катушек приведена применительно к **дробной части** ППФ. Чтобы определить группировку для ППФ, равного **дробной части плюс целое число**, надо целое число прибавить к значениям, приведенным в таблице группировки катушек.

Примечание: Максимальное число параллельных ветвей равно половине числа, указанного в таблице, если используются длинные междугрупповые („в—н") соединения для обмоток, имеющих четный знаменатель в дробной части ППФ (см. § 4-3).

ГЛАВА ПЯТАЯ

# НЕСИММЕТРИЧНЫЕ ПЕТЛЕВЫЕ ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ (НЕСИММЕТРИЧНЫЕ ПЕТЛЕВЫЕ ОБМОТКИ С НЕОДИНАКОВЫМИ ПО ЧИСЛУ КАТУШЕК ГРУППАМИ)

В предыдущей главе рассматривались **симметричные** петлевые обмотки с дробным ППФ. В таких обмотках э. д. с. всех фаз равны по величине и углы между следующими одна за другой фазами одинаковы. Эти условия не соблюдаются в **несимметричных** петлевых обмотках с дробным ППФ, рассматриваемых в данной главе. Так как несимметрия может вызвать вибрации и шум или увеличение токов, создающих дополнительный нагрев этих обмоток, то их избегают применять, а используют только в специальных случаях, например когда обмотка должна быть изменена при переходе от одного числа полюсов к другому или от одной частоты к другой. Несимметричная обмотка используется также на заводах для уменьшения количества штампов; например, применяется один и тот же штамп с 48 пазами для 4 и 6 полюсов, что приводит к несимметрии в трехфазной обмотке при 6 полюсах.

**5-1. Два типа несимметричных петлевых обмоток с дробным ППФ.** Очевидно, что обмотка будет несимметричной, если число пазов не делится на число фаз. Однако обмотка может быть несимметричной и в том случае, если число пазов делится на число фаз. В § 4-6 были даны 2 условия симметрии. Рассмотрим трехфазную 6-полюсную обмотку с 63 пазами. Для этой обмотки ППФ $= \frac{63}{3\times6} = \frac{7}{2} = 3^1/_2$.

Знаменатель дроби ($^1/_2$) равен 2. Согласно первому условию симметрии число полюсов должно быть кратным знамена-

телю дроби. В данном примере число полюсов (6), поделенное на знаменатель дроби (2), равно 3; следовательно, первое условие выполняется. Согласно второму условию симметрии, знаменатель дроби не должен быть кратным числу фаз. В данном примере второе условие также выполняется, так как знаменатель (2) не делится на число фаз (3). Следовательно, трехфазная 6-полюсная обмотка с 63 пазами является симметричной обмоткой. Если число пазов 66, а не 63, то число пазов на полюс и фазу будет $\frac{66}{3\times6}=\frac{11}{3}=3^2/_3$. Знаменатель дроби теперь равен 3. Первое условие симметрии снова выполняется: $\frac{6}{3}=2$; второе условие не выполняется (3 кратно 3). Эта обмотка будет несимметричной, несмотря на то, что число пазов (66) делится на число фаз (3) и каждая фаза имеет одно и то же число катушек (22). Рассмотрим теперь ту же самую трехфазную 6-полюсную обмотку, но с 68 пазами. Здесь ППФ$=\frac{68}{3\times6}=\frac{34}{9}=3^7/_9$ и ни одно из условий симметрии не выполняется, как это всегда и получается, если число пазов не кратно числу фаз (68 не делится на 3).

В первом случае несимметрии, когда число пазов и знаменатель дроби ППФ оба кратны числу фаз, заполняются катушками все пазы. Во втором случае несимметрии, когда число пазов не кратно числу фаз, некоторые из катушек не включаются в обмотку, чтобы получить в каждой фазе одно и то же число катушек.

При составлении схем несимметричных обмоток с дробным ППФ необходимо получить возможно малую несимметрию (см. § 5-7).

**5-2. Таблицы группировок катушек и как ими пользоваться.** Таблицы группировок катушек показывают распределение больших и малых полюсно-фазных групп по окружности статора или ротора. Оба случая несимметрии будут рассмотрены отдельно.

**а) Число пазов и знаменатель дроби оба кратны числу фаз.** Для двухфазных обмоток основная табл. 3-4 дает (курсивом) значения ППФ, соответствующие различным числам полюсов и различным числам пазов. Для трехфазных обмоток соответствующая таблица — основная табл. 3-5. Очевидно, что для двухфазных обмоток знаменатель дроби



может быть только равным 2 или кратным 2. Для трехфазных обмоток знаменатель может быть только равным 3 или кратным 3. Табл. 5-1 для двухфазных обмоток и табл. 5-2 для трехфазных обмоток показывают распределение больших и малых полюсно-фазных групп *для числа полюсов, равного знаменателю дроби*. Например, для двухфазной обмотки при знаменателе дроби, равном 2 (ППФ$=1^1/_2$, $2^1/_2$, $3^1/_2$ и т. д.), группировка, приведенная в табл. 5-1, представляет собой группировку только для 2 полюсов; если знаменатель дроби равен 6 (ППФ$=1^1/_6$, $2^1/_6$, $2^5/_6$ и т. д.), то приведенная группировка относится к 6 полюсам. В то же время в табл. 5-1 указано, сколько раз приведенная в ней группировка должна быть повторена для обмотки, имеющей большее число полюсов, чем это дает знаменатель дроби ППФ. В рассмотренном выше примере при знаменателе дроби, равном 2, приведенная в табл. 5-1 группировка должна быть повторена 2 раза для 4-полюсной обмотки $\left(\frac{4}{2}=2\right)$, 4 раза для 8-полюсной обмотки $\left(\frac{8}{2}=4\right)$ и т. д. В примере при знаменателе дроби, равном 6, приведенная группировка должна быть повторена 2 раза для 12-полюсной обмотки $\left(\frac{12}{6}=2\right)$ 8 раз для 48-полюсной обмотки $\left(\frac{48}{6}=8\right)$ и т. д. Аналогично для трехфазной обмотки при знаменателе дроби, равном 3 (ППФ$=1^1/_3$, $2^1/_3$, $2^2/_3$ и т. д.), группировка, приведенная в табл. 5-2, представляет собой группировку только для 3 полюсов; если знаменатель равен 9, то приведенная группировка относится в 9 полюсам. В табл. 5-2 также указывается, сколько раз приведенная в ней группировка должна быть повторена для обмотки, имеющей большее число полюсов, чем это дает знаменатель дроби ППФ. В общем случае *число повторений равно числу полюсов, поделенному на знаменатель дроби*.

Рассмотрим двухфазную 8-полюсную обмотку с ППФ$=2^3/_4$. Числа, соответствующие $^3/_4$ в табл. 5-1, дают последовательность больших и малых полюсно-фазных групп для 4 полюсов. Целая часть ППФ, т. е. 2, должна быть прибавлена к числам строки, соответствующей $^3/_4$. Таким образом, полученная группировка должна быть повторена дважды, так как число полюсов (8), поделенное на знаме-

натель дроби (4), равно 2. Тогда группировка катушек всей обмотки будет:

3 3 2 3 3 3 3 2   3 3 2 3 3 3 3 2;
*A B A B A B A B   A B A B A B A B.*

Буквы *A* и *B* указывают фазы, к которым относятся отдельные полюсно-фазные группы.

Как другой пример, рассмотрим трехфазную 12-полюсную обмотку со 102 пазами. По основной табл. 3-5 для 12 полюсов и 102 пазов ППФ равно $2^{5}/_{6}$. Табл. 5-2 дает следующую последовательность больших и малых полюсно-фазных групп для дроби $^{5}/_{6}$:

1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0.

Так как целая часть ППФ равна 2, то это число должно быть прибавлено ко всем числам группировки, что дает:

3 3 3 2 3 3 3 3 3 3 2 3 3 3 3 3 3 2;
*A C B A C B A C B A C B A C B A C B.*

Числа этого ряда представляют собой последовательность полюсно-фазных групп с 2 и 3 единичными катушками соответственно только для 6 полюсов, потому что знаменатель дроби равен 6. Так как машина имеет 12 полюсов, то вся обмотка будет состоять из $\frac{12}{6} = \frac{\textit{число полюсов}}{\textit{знаменатель дроби}} = 2$ повторений указанной группировки Буквы *A*, *C* и *B* указывают фазы, к которым относятся отдельные полюсно-фазные группы.

Максимальное возможное число параллельных ветвей рассмотренных обмоток, очевидно, равно числу повторяющихся частей обмотки, т. е. числу полюсов, поделенному на знаменатель дроби. То же самое мы имели для симметричных петлевых обмоток с дробным ППФ. Если число параллельных ветвей меньше максимального возможного числа, то последнее должно быть кратно выбранному числу параллельных ветвей.

**б) Число пазов не кратно числу фаз.** В табл. 5-3 и 5-4 приведены значения ППФ для различных чисел полюсов и различных чисел пазов соответственно для двухфазной и трехфазной обмоток. Табл. 5-5 и 5-6 указывают после-



довательность больших и малых полюсно-фазных групп для различных значений ППФ и различных чисел полюсов. Для того чтобы получить число единичных катушек в каждой группе, надо к единицам и нулям прибавить целую часть ППФ. Полюсно-фазные группы, из которых выключается катушка, обозначены кружком или квадратом, очерченным вокруг 1 или 0. В таблицах указаны также пазы, из которых удалены катушечные стороны (номер 1 относится к первому пазу фазы *A*).

Для уменьшения несимметрии следует в некоторых случаях удалить катушку внутри полюсно-фазной группы, т. е. расщепить полюсно-фазную группу. Для достижения указанной цели возможны два способа определения тех катушек, которые надо удалить: один — без расщепления, другой — с расщеплением групп. Первый способ отмечен кружками вокруг единиц или нулей, второй — квадратами вокруг единиц или нулей. В таблицах для обоих способов указываются номера пазов, из которых удаляются катушечные стороны. Отметим, что в отличие от рассмотренного случая а) группировка, взятая из табл. 5-5 или 5-6, представляет собой группировку всей обмотки. Табл. 5-5 и 5-6 составлены для минимума несимметрии. В таблицах указаны случаи, когда возможны 2 параллельные ветви.

Рассмотрим два примера. Первый относится к трехфазной 8-полюсной машине с 56 пазами. Табл. 5-4 дает для 8 полюсов и 56 пазов значение ППФ, равное $2^{1}/_{3}$. Для ППФ, равного $2^{1}/_{3}$, и для 8 полюсов табл. 5-6 указывает следующую последовательность больших и малых полюсно-фазных групп:

0 0 1 0 1 0 0 ① 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 ① 0 1 0 0

Целая часть ППФ равна 2, поэтому ко всем числам группировки надо прибавить 2. Это дает следующую группировку для всей обмотки:

2 2 3 2 3 2 2 ③ 2 3 2 2 2 2 3 2 3 2 2 ③ 2 3 2 2
*A C B A C B A C B A C B A C B A C B A C B A C B*

Выключаются 2 катушки, отмеченные кружками; остаются 56—2=54 катушки, т. е. по 18 на каждую фазу. 2 включенные катушки, как указано в табл. 5-6,

лежат в пазах *17* и *47*. Получаются 24 полюсно-фазные группы (число полюсов×число фаз). Написав буквы *A*, *C* и *B*, определим фазы, к которым относятся отдельные полюсно-фазные группы. Из табл. 5-6 видно, что при выбранном распределении получаются небольшое отклонение по углу, а также небольшое отклонение по величине. Возможны 2 параллельные ветви.

Как второй пример рассмотрим трехфазную 6-полюсную обмотку с 40 пазами. Так как число пазов 40, то нужно удалить 1 катушку, чтобы число катушек в каждой фазе было равно 13. В табл. 5-4 указано, что для 6 полюсов и 40 пазов ППФ равно $2^2/_9$. Для ППФ, равного $2^2/_9$, и для 6 полюсов табл. 5-6 дает следующую последовательность больших и малых полюсно-фазных групп:

[1] 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0

Прибавляя целую часть ППФ (2), получим группировку для всей обмотки:

[3] 2 2 2 3 2 2 2 2 3 2 2 2 2 3 2 2 2
*A C B A C B A C B A C B A C B A C B*

Получается 6×3=18 полюсно-фазных групп. 1 катушка выключается из первой полюсно-фазной группы, как отмечено кружком и квадратом. Как указано в табл 5-6, паз, из которого удаляется катушка, — это или паз *3* или паз *2*. В первом случае удаляется последняя катушка первой полюсно-фазной группы, что приводит к отклонению по углу 3°. Во втором случае удаляется вторая (средняя) катушка первой полюсно-фазной группы; полюсно-фазная группа расщепляется, что дает отклонение по углу только 54′. Для данной обмотки возможно только последовательное соединение полюсно-фазных групп в каждой фазе.

В общем случае вопрос об определении числа параллельных ветвей, которое может быть осуществлено в обмотке с числом пазов, не кратным числу фаз, требует специального рассмотрения. Это поясняется в § 5-5. Немногие группировки позволяют иметь 2 параллельные ветви. Такие группировки указаны в табл. 5-6.



В гл. 4 отмечалось, что таблицы группировок катушек должны использоваться с некоторой осторожностью, так как не всегда можно избежать в них опечаток. В § 5-4 и 5-5 приводятся простые методы, позволяющие составить схемы несимметричных обмоток, рассмотренных выше для случаев «а» и «б». Эти методы могут быть использованы для проверки таблиц, а также для составления схем обмоток, которые не вошли в таблицы.

**5-3. Схемы соединений и начала фаз.** Схемы соединений несимметричных петлевых обмоток с дробным ППФ — такие же, как и для симметричных петлевых обмоток с дробным ППФ (см. § 4-2), а следовательно, они не отличаются от схем обмоток с целым ППФ, подробно рассмотренных в гл. 3. Например, схема соединений трехфазной 6-полюсной обмотки с 40 пазами, т. е. при ППФ=$2^2/_9$, представленная на рис. 3-53, так же правильна, как и для трехфазной 6-полюсной обмотки с целым ППФ. Однако линии, условно изображающие отдельные полюсно-фазные группы, соответствуют для обмотки с дробным ППФ различным числам единичных катушек. В примере трехфазной 6-полюсной обмотки с 40 пазами эти линии изображают полюсно-фазные группы соответственно с 2 и 3 единичными катушками. Правила, по которым определяются начала фаз для симметричных петлевых двухфазных обмоток с дробным ППФ (см. § 4-9), применимы также и к несимметричным петлевым двухфазным обмоткам с дробным ППФ.

Начала любых 2 следующих одна за другой полюсно-фазных групп могут быть использованы как начала фаз. В общем случае в двухфазных обмотках начала фаз должны быть сдвинуты на 1 плюс 0 или (четное число×2) полюсно-фазных групп. Например, началами фаз могут быть начала полюсно-фазных групп *1* и *2* (сдвинута на 1 плюс 0 полюсно-фазную группу), или начала полюсно-фазных групп *1* и *6* (сдвинута на 1 плюс 2×2 полюсно- фазных групп), или начала полюсно-фазных групп *1* и *10* и т. д.

Правила, по которым определяются начала фаз симметричных трехфазных обмоток с дробным ППФ (см. § 4-11), применимы также и к несимметричным трехфазным обмоткам с дробным ППФ. Начала любых 3 полюсно-фазных групп, сдвинутых одна от другой на 2 полюсно-фазные группы, могут быть использованы как нача-

ла фаз. Следовательно, начала групп *1*, *3* и *5* или начала групп *2*, *4* и *6* и т. д. могут быть использованы как начала фаз. Однако, как указывалось в § 4-11, каждая из полюсно-фазных групп *1*, *3* и *5* (или *2*, *4* и *6*) может быть заменена группой, принадлежащей той же фазе и сдвинутой относительно нее на 6 полюсно-фазных групп. Поэтому начала групп *1*, *9* (3+6) и *5*, или *1*, *3* и *11* (5+6), или *1*, *9* (3+6) и *11* (5+6); или *1*, *9* (3+6) и *17* (11+6) также могут быть выбраны как начала фаз. В общем случае начала фаз должны быть сдвинуты на 2 плюс 0 или (четное число×3) полюсно-фазных групп.

**5-4. Составление схемы несимметричной петлевой обмотки с дробным ППФ, когда число пазов кратно числу фаз.** (Несимметричные обмотки первого типа, случай „а"; см. § 5-1 и 5-2.) Пусть

$m$ равно числу фаз,
$N$ равно числителю ППФ,
$d$ равно знаменателю ППФ.

Например, в двухфазной обмотке с ППФ$=^9/_4=2^1/_4$; $m=2$; $N=9$ и $d=4$, а в трехфазной обмотке с ППФ$=^8/_3=2^2/_3$; $m=3$; $N=8$ и $d=3$.

а) Напишем ППФ в форме $\frac{N}{d}$, где $N$ и $d$ не имеют общего делителя.

б) Определим значение $D$ по формуле

$$D=\frac{mNP+m}{d}, \qquad (5\text{-}1)$$

где $P$ — наименьшее целое число, включая 0, при котором $D$ получается целым числом.

в) Напишем $m$ (т. е. 2 для 2 фаз или 3 для 3 фаз) рядов, каждый с $N$ числами, из которых каждое последующее больше предыдущего на $D$. Первый ряд получает следующий вид:

$$1,\ 1+D,\ 1+2D,\ 1+3D, \ldots 1+(N-1)D.$$

Если одно из чисел этого ряда будет больше $N$, то последнее надо вычесть из числа (см. примеры). Второй ряд с $N$ числами получается из первого путем прибавления $N$ ко всем числам первого ряда. Третий ряд (для трехфазной обмотки) получается из второго путем прибавления $N$ ко всем числам второго ряда. Таким образом, второй ряд:

$$1+N,\ 1+D+N,\ 1+2D+N,$$
$$1+3D+N, \ldots, 1+(N-1)D+N;$$

третий ряд (только для трехфазной обмотки):

$$1+2N,\quad 1+D+2N,\quad 1+2D+2N,$$
$$1+3D+2N, \ldots\ 1+(N-1)D+2N.$$

Числа этих рядов представляют собой пазы всех фаз на $d$ полюсов.

г) Разделим пазы, представленные $m$ рядами, на $m$ частей таким образом, чтобы каждая часть, т. е. каждая фаза, содержала $N$ пазов и чтобы эти $N$ пазов каждой фазы были возможно ближе один к другому. Далее, разделение $mN$ пазов между $m$ фазами должно дать одинаковое число больших и одинаковое число малых полюсно-фазных групп для каждой фазы.

д) Полученная группировка относится к $d$ полюсам. Вся обмотка состоит из полученной группировки, повторенной столько раз, сколько раз $d$ полюсов содержатся в полном числе полюсов, т. е. число повторений равно числу полюсов, поделенному на $d$.

е) Максимальное возможное число параллельных ветвей равно числу полюсов, поделенному на $d$.

Изложенный метод поясним на 2 примерах. Рассмотрим сначала двухфазную 4-полюсную обмотку с 18 пазами. Согласно основной табл. 3-4 ППФ$=2^1/_4=^9/_4$. Таким образом, для этой обмотки $m=2$; $N=9$; $d=4$. Из (5-1) имеем:

$$D=\frac{2\times 9\times P+2}{4}=5,\ \text{где}\ P=1.$$

Первый ряд с $N=9$ пазами при разности между соседними числами, равной $D$, получает следующий вид:

*1*; $1+5=$ *6*; $6+5-9=$ *2*; $2+5=$ *7*; $7+5-9=$ *3*; $3+5=$ *8*; $8+5-9=$ *4*; $4+5=$ *9*; $9+5-9=$ *5*.

Второй ряд получается из первого прибавлением $N=9$ ко всем числам первого ряда. Таким образом, получаем оба ($m=2$) ряда:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6 | 2 | 7 | 3 \| | 8 | 4 | 9 | 5 |
| 10 | 15 | 11 | 16 | \|12 | 17 | 13 | 18 | 14 |

*A* *B*

Ломаная линия показывает, как должны быть $mN = 18$ пазов разделены между двумя фазами $A$ и $B$. Разместив пазы в той последовательности, в которой они следуют один за другим в машине, получим:

$$\underset{A}{\underline{1-2-3}}\quad \underset{B}{\underline{4-5}}\quad \underset{A}{\underline{6-7}}\quad \underset{B}{\underline{8-9}}$$

$$\underset{A}{\underline{10-11}}\quad \underset{B}{\underline{12-13-14}}\quad \underset{A}{\underline{15-16}}\quad \underset{B}{\underline{17-18}}.$$

Последовательность полюсно-фазных групп для $d$ полюсов и числа единичных катушек в них в соответствии с табл. 5-1 будет:

$$\begin{matrix} 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 2; \\ A & B & A & B & A & B & A & B. \end{matrix}$$

Каждая фаза для $d = 4$ полюсов имеет 1 группу с 3 единичными катушками и 3 группы с 2 единичными катушками. Так как число полюсов равно 4, а также и $d$ равно 4, то полученная группировка должна быть повторена $^4/_4 = 1$ раз, т. е. полученная группировка представляет собой всю обмотку. Параллельные ветви в данной обмотке невозможны.

Как второй пример рассмотрим трехфазную 18-полюсную обмотку со 114 пазами. По основной табл. 3-5 ППФ $= 2^1/_9 = \frac{19}{9}$; следовательно, $m = 3$; $N = 19$; $d = 9$. Из (5-1) имеем:

$$D = \frac{3 \times 19 \times P + 3}{9} = 13, \text{ где } P = 2.$$

Первый ряд с $N = 19$ пазами:

$$\mathit{1};\quad 1 + 13 = \mathit{14};\ 14 + 13 - 19 = \mathit{8};\ 8 + 13 - 19 = \mathit{2};$$
$$2 + 13 = \mathit{15};\ 15 + 13 - 19 = \mathit{9};\ 9 + 13 - 19 = \mathit{3};$$
$$3 + 13 = \mathit{16} \text{ и т. д.}$$

Так как $m = 3$, то получаются 3 ряда. Второй ряд получается из первого прибавлением $N = 19$ ко всем числам первого ряда. Третий ряд получается из второго прибавлением $N = 19$ ко всем числам второго ряда. Три ряда имеют следующий вид:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14 | 8 | 2 | 15 | 9 | 3 | 16 | 10 | 4 | 17 | 11 | 5 | 18 | 12 | 6 | 19 | 13 | 7 |
| 20 | 33 | 27 | 21 | 34 | 23 | 22 | 35 | 29 | 23 | 36 | 30 | 24 | 37 | 31 | 25 | 38 | 32 | 26 |
| 39 | 52 | 46 | 40 | 53 | 47 | 41 | 54 | 48 | 42 | 55 | 49 | 43 | 56 | 50 | 44 | 57 | 51 | 45 |
| | | *A* | | | | | | | *C* | | | | | | | *B* | | |



Ломаные линии показывают разделение $mN = 57$ пазов между 3 фазами. Группировка катушек для $d = 9$ полюсов в соответствии с табл. 5-2:

$$\begin{matrix} 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2; \\ A & C & B & A & C & B & A & C & B & A & C & B & A & C & B & A & C & B & A & C & B & A & C & B & A & C & B. \end{matrix}$$

Каждая фаза для $d = 9$ полюсов имеет 1 полюсно-фазную группу с 3 единичными катушками и 8 полюсно-фазных групп с 2 единичными катушками.

Так как число полюсов (18), поделенное на $d$ (9), равно 2, то вся обмотка состоит из 2 повторений полученной группировки. Полное число полюсно-фазных групп — то же самое, что и для обмоток с целым ППФ, а именно равно числу полюсов, умноженному на число фаз. Число полюсов, поделенное на $d$, равно 2. Отсюда максимальное число параллельных ветвей 2.

**5-5. Составление схемы несимметричной петлевой обмотки с дробным ППФ, когда число пазов не кратно числу фаз.** (Несимметричные обмотки второго типа, случай „б"; см. § 5-1 и 5-2.) Как в § 5-4, пусть

$m$ равно числу фаз;
$N$ равно числителю ППФ;
$d$ равно знаменателю ППФ.

Например, в двухфазной обмотке с ППФ $= \frac{29}{12} = 2^5/_{12}$; $m = 2$; $N = 29$ и $d = 12$.

а) Напишем ППФ в форме $\frac{N}{d}$, где $N$ и $d$ не имеют общего делителя.

б) Определим значение $D$ по формуле

$$D = \frac{mNP + m}{d}, \tag{5-2}$$

где $P$ — наименьшее целое число, включая 0, при котором $D$ получается целым числом.

в) Определим наибольший общий делитель $t$ числа полюсов и числа пазов. Например, для двухфазной 6-полюсной обмотки с 29 пазами наибольший делитель $t$ равен 1, а для трехфазной 6-полюсной обмотки с 38 пазами наибольший общий делитель $t$ равен 2, так как число полюсов (6) кратно 2 и число пазов (38) также кратно 2.

г) Напишем $t$ рядов, каждый с $N$ числами, из которых каждое последующее больше предыдущего на $D$. Первый ряд имеет следующий вид:

$$1,\ 1+D,\ 1+2D,\ 1+3D, \ldots, 1+(N-1)D.$$

Если одно из чисел ряда будет больше $N$, последнее надо вычесть из числа (см. примеры). Второй ряд из $N$ чисел получается из первого ряда прибавлением $N$ ко всем числам первого ряда. Третий ряд получается из второго ряда прибавлением $N$ ко всем числам второго ряда и т. д. Таким образом, второй ряд:

$$1+N,\ 1+D+N,\ 1+2D+N,$$
$$1+3D+N, \ldots, 1+(N-1)D+N;$$

третий ряд:

$$1+2N,\ 1+D+2N,\ 1+2D+2N,$$
$$1+3D+2N, \ldots, 1+(N-1)D+2N$$

и т. д. Числа $t$ рядов, полученных указанным методом, представляют собой пазы (номера их) всей обмотки.

д) Разделим пазы, представленные $t$ рядами, на $m$ частей таким образом, чтобы каждая часть, т. е. каждая фаза, состояла из одного и того же числа пазов и чтобы пазы каждой фазы были возможно ближе один к другому. Так как число пазов не кратно числу фаз, то одинаковое число пазов в каждой фазе может быть получено только в том случае, если некоторое число катушек (оно обычно меньше числа фаз $m$) будет удалено. Разделение $t \times N$ пазов между $m$ фазами должно дать одинаковое число больших и одинаковое число малых полюсно-фазных групп для каждой фазы.

Изложенный метод поясним на двух примерах. Рассмотрим сначала двухфазную 6-полюсную обмотку с 33 пазами, т. е. при ППФ $= \frac{33}{2 \times 6} = \frac{11}{4} = 2^3/_4$. Таким образом, для данной обмотки $m = 2$; $N = 11$; $d = 4$. Из (5-2)

$$D = \frac{2 \times 11 \times P + 2}{4} = 6, \text{ где } P = 1.$$

Наибольший общий делитель числа полюсов (6) и числа пазов (33) равен 3 ($t = 3$). Теперь могут быть написаны 3 ряда с $N = 11$ числами в каждом при разности между



следующими друг за другом числами в каждом ряду, равной $D = 6$, и при разности между соответствующими числами следующих друг за другом рядов, равной $N = 11$. Первый ряд с $N = 11$ пазами:

$$1;\ 1+6=7;\ 7+6-11=2;\ 2+6=8;$$
$$8+6-11=3;\ 3+6=9;\ 9+6-11=4;$$
$$4+6=10;\ 10+6-11=5;\ 5+6=11;$$
$$11+6-11=6,$$

или

1 7 2 8 3 9 4 10 5 11 6.

Второй ряд получается прибавлением $N = 11$ ко всем числам первого ряда и третий ряд — прибавлением $N = 11$ ко всем числам второго ряда. Отсюда получаем $t = 3$ ряда в следующем виде:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | 2 | 8 | 3 | 9 \| | 4 | 10 | 5 | 11 | 6 | |
| 12 | 18 | 13 | 19 | 14 | \|20 | 15 | 21 | 16 | 22 | 17 | (L) |
| 23 | 29 | 24 | 30 | 25 | 31\| | 26 | 32 | 27 | 33 | 28 | |
| | | A | | | | | | B | | | |

Ломаная линия показывает, как $t \times N = 33$ паза разделяются между 2 фазами $A$ и $B$. Разместив пазы в последовательности, в которой они следуют один за другим в машине, получим:

$\frac{1\ 2\ 3}{A}$ $\frac{4\ 5\ 6}{B}$ $\frac{7\ 8\ 9}{A}$ $\frac{10\ 11}{B}$ $\frac{12\ 13\ 14}{A}$ $\frac{15\ 16\ 17}{B}$ $\frac{18\ 19}{A}$
$\frac{20\ 21\ 22}{B}$ $\frac{23\ 24\ 25}{A}$ $\frac{26\ 27\ 28}{B}$ $\frac{29\ 30\ 31}{A}$ $\frac{32\ 33}{B}$.

Последовательность полюсно-фазных групп и число единичных катушек в них:

3 3 ③ 2 3 3 2 3 3 3 3 2
*A B A B A B A B A B A B*

Можно видеть, что 17 пазов относятся к фазе $A$ и 16 пазов — к фазе $B$. Для того чтобы сделать число катушек одинаковым в обеих фазах, надо удалить 1 катушку в фа-

зе *A*. Полюсно-фазная группа фазы *A*, из которой удаляется катушка, отмечена кружком. Как показывает табл. 5-5, отклонение по углу равно 2° 3′, а отклонение по величине ничтожно, если удаляется катушка из паза *9*, т. е. если удаляется третья катушка из второй полюсно-фазной группы фазы *A*. Если катушка удаляется из паза *2*, т. е. если первая полюсно-фазная группа фазы *A* расщепляется, то отклонение по углу уменьшается до 1° 1′, но отклонение по величине увеличивается до 2,3%.

Фаза *A*, так же как и фаза *B*, имеет 4 полюсно-фазные группы с 3 единичными катушками и 2 полюсно-фазные группы с 2 единичными катушками. Полученное распределение представляет собой всю обмотку, что соответствует табл. 5-5.

Как второй пример рассмотрим трехфазную 4-полюсную обмотку с 44 пазами. По табл. 5-4 ППФ $= 3^2/_3 = ^{11}/_3$. Следовательно, $m=3$; $N=11$; $d=3$. Из (5-2)

$$D=\frac{3\times 11\times P+3}{3}=1,\ \text{где}\ P=0.$$

Наибольший общий делитель числа полюсов (4) и числа пазов (44) равен 4 ($t=4$). Отсюда следует, что должны быть написаны $t=4$ ряда с 11 числами в каждом. Так как $D=1$, то 4 ряда представляют собой натуральный ряд чисел от 1 до 44. Эти $t=4$ ряда имеют следующий вид:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | (M) |
| 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | |
| | *A* | | | | *C* | | | *B* | | | |

Ломаные линии показывают, как распределяются $t\times N=44$ паза между 3 фазами *A*, *C* и *B*. Последовательность полюсно-фазных групп и числа единичных катушек в них:

4 3 4 (4) 4 3 4 3 4 3 4 (4)
*A C B A C B A C B A C B*

Можно видеть, что 15 пазов относятся к фазе *A*, 14 — к фазе *C* и 15 пазов к фазе *B*. Для того чтобы сделать число катушек одним и тем же для всех фаз, необходимо удалить



2 катушки: 1 в фазе *A* и 1 в фазе *B*. Полюсно-фазные группы, из которых удаляются катушки, отмечены кружками. В табл. 5-6 указывается, что катушки удаляются из пазов *15* и *41*. При 2 удаленных катушках каждая фаза будет состоять из 2 полюсно-фазных групп с 4 единичными катушками и 2 полюсно-фазных групп с 3 единичными катушками. Полученное распределение представляет собой всю обмотку, что соответствует табл. 5-6. Отклонение по углу равно + 1°39′, а по величине 0,45%.

Полученные $t$ рядов с $N$ пазами в каждом позволяют выяснить, может ли обмотка иметь параллельные ветви и сколько их может быть. Максимальное возможное число параллельных ветвей в каждой фазе равно $t$ (наибольшему общему делителю числа полюсов и числа пазов). Однако $t$ параллельных ветвей в каждой фазе возможны только в том случае, если пазы, отнесенные к фазе, лежат в $t$ рядах один над другим. Рассмотрим таблицу пазов (L) первого примера. Пазы, отнесенные к фазе *A*: *1*, *7*, *2*, *8*, *3*, *9* в первом ряду; *12*, *18*, *13*, *19*, *14* во втором ряду и *23*, *29*, *24*, *30*, *25*, *31* в третьем ряду. Пазы ($t$ = 3) *1—12—23*, *7—18—29*, *2—13—24*, *8—19—30* и *3—14—25* лежат один над другим, но по вертикали с верхним пазом *9* в фазе *A* находятся не три ($t$) паза. Следовательно, в фазе *A* 3 параллельные ветви невозможны. Также и для фазы *B* не имеем условий, позволяющих осуществить 3 параллельные ветви. Обмотка первого примера при распределении согласно таблице (L) должна быть соединена последовательно. Однако при выключении 3 катушек вместо 1 представляется возможным иметь $t$ = 3 параллельные ветви. Выключая, например, катушки *9*, *20* и *31*, получим следующее распределение:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | 2 | 8 | 3 | (9) | 4 | 10 | 5 | 11 | 6 | |
| 12 | 18 | 13 | 19 | 14 | (20) | 15 | 21 | 16 | 22 | 17 | (L′) |
| 23 | 29 | 24 | 30 | 25 | (31) | 26 | 32 | 27 | 33 | 28 | |
| | | *A* | | | | | | *B* | | | |

Катушки каждой фазы, лежащие по горизонтали (в одном и том же ряду), должны быть соединены последовательно. Так, для фазы *A* катушки *1—2—3—7—8*, катушки *12—13—14—18—19* и катушки *23—24—25—29—30* должны быть

соответственно соединены последовательно. Так как теперь катушки *3* ($t$) рядов лежат одна над другой, то они могут быть соединены параллельно, т. е. катушки ряда *1—2—3—7—8* могут быть соединены параллельно с катушками ряда *12—13—14—18—19* и с катушками ряда *23—24—25—29—30*. То же самое применимо и к фазе *B*. В этой фазе катушки *4—5—6—10—11*, *15—17—21—22* и *26—27—28—32—33* могут быть соответственно соединены последовательно, а 3 ряда катушек могут быть соединены параллельно.

Группировка катушек, соответствующая таблице пазов (L′):

3 3 (3) 2 3 3 (3) 2 3 3 (3) 2

*A B A B A B A B A B A B*

Отклонения для распределения (L′) равны нулю по величине и 8° 11′ по углу. Выключение катушек из пазов *2*, *13* и *24*, т. е. расщепление 3 полюсно-фазных групп фазы *A*, дает отклонение по углу только 1° 38′, но увеличивает отклонение по величине до 5,45%. Оба распределения применять не следует (см. § 5-7).

$t$ — максимальное возможное число параллельных ветвей. В зависимости от распределения катушек можно получить параллельных ветвей меньше, чем $t$. Для этого $t$ должно быть кратно выбранному числу параллельных ветвей. Рассмотрим снова первый пример при $t$, равном 3. Так как 3 кратно только 3 и 1, то возможны или 3 параллельные ветви, или последовательное соединение.

Рассмотрим теперь обмотку второго примера (3 фазы, 4 полюса, ППФ $=3^2/_3$). Так как для обмотки $t=4$, то теоретически возможны 4 или 2 параллельные ветви. Ряды (M) показывают, что при данном распределении катушек $t=4$ параллельные ветви невозможны. Рассмотрим, например, фазу *C*; катушка *37* не имеет соответствующих катушек в 3 других рядах, так как катушки *4*, *15* и *26* принадлежат фазе *A*. Однако 2 параллельные ветви возможны, если взять следующее распределение катушек:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | (19) | 20 | 21 | 22 | |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | (M′) |
| 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | (41) | 42 | 43 | 44 | |
| | *A* | | | | *C* | | | *B* | | | |



и катушки *19* и *41* выключить. В фазе *A* катушки *1—2—3—4—12—13—14* и *23—24—25—26—34—35—36* должны быть соответственно соединены последовательно и затем оба ряда катушек — параллельно. В фазе *C* катушки *5—6—7—15—16—17—18* и катушки *27—28—29—37—38—39—40* должны быть соответственно соединены последовательно, а оба ряда катушек — параллельно. В фазе *B* катушки *8—9—10—11—20—21—22* и *30—31—32—33—42—43—44* должны быть соответственно соединены последовательно, а оба ряда катушек — параллельно.

Отклонения для распределения (M′) равны нулю по величине и 5° 30′ по углу. Выключив катушки из пазов *20* и *42* вместо *19* и *41*, т. е. расщепив 2 полюсно-фазные группы в фазе *B*, получим отклонение по углу 3°54′ и отклонение по величине 0,97%. В отношении несимметрии размещение с расщепленными полюсно-фазными группами следует предпочесть.

Отметим, что ряды катушек, соединяемых параллельно, должны занимать с и м м е т р и ч н ы е   п о л о ж е н и я в таблице пазов. Рассмотрим снова фазу *A* таблицы пазов (M′). Видно, что имеются 2 симметричные группы катушек, а именно катушки *1*, *2*, *3*, *4*, *12*, *13*, *14* и катушки *23*, *24*, *25*, *26*, *34*, *35*, *36*. Такие ряды катушек могут быть соединены параллельно. То же самое применимо и к фазам *C* и *B*.

Было показано для первого примера (2 фазы, 6 полюсов, 33 паза), что при выключении 3 катушек вместо 1 можно получить 3 параллельные ветви. Параллельные ветви получились в этом случае за счет числа активных катушек машины и за счет величины несимметрии, которая стала больше. Во втором примере трехфазной 4-полюсной обмотки 2 параллельные ветви были получены за счет величины несимметрии. В несимметричных обмотках с выключенными катушками распределение пазов между фазами, установленное в таблицах пазов (L), (M), (L′) и (M′), а также число и положение выключенных катушек влияют на несимметрию и возможное число параллельных ветвей. Минимальные отклонения по углу получаются, если выключаемые катушки находятся вблизи линии симметрии фазы. Однако для этого положения выключаемых катушек отклонение по величине будет наибольшим. Если параллельные ветви необходимы, то они могут быть получены в известных случаях за счет числа активных катушек и величины несимметрии, в других случаях—за счет величины

несимметрии. Группировки катушек в табл. 5-5 и 5-6 составлены для минимальной несимметрии. В этих таблицах указываются величина несимметрии и возможное число параллельных ветвей. Так как положение выключаемых катушек влияет на группировку и величину несимметрии, то в табл. 5-5 и 5-6 указываются номера пазов, из которых катушки выключаются. Отметим, что номер 1 относится к первому пазу фазы $A$ (см. § 5-2, случай «*б*»).

**5-6. Упрощение таблиц группировок катушек несимметричных петлевых обмоток с дробным ППФ.** Как и для симметричных петлевых обмоток с дробным ППФ, последовательность больших и малых полюсно-фазных групп определяется только дробной частью ППФ, если $Z/m$ — целое число ($Z$ — полное число пазов). Поэтому группировки катушек, приведенные в табл. 5-1 и 5-2, показывают только последовательность больших и малых полюсно-фазных групп. Для того чтобы получить число единичных катушек в отдельных полюсно-фазных группах, надо к числам группировки катушек в таблицах прибавить целую часть ППФ, как указывалось в § 5-2; е с л и $Z/m$ — ч и с л о н е ц е л о е, то последовательность больших и малых полюсно-фазных групп зависит от схемы обмотки, а также от числа и положения выключаемых катушек. Цифры 1 и 0 в табл. 5-5 и 5-6 обозначают большие и малые полюсно-фазные группы, как и в табл. 5-1; однако здесь д р о б н а я ч а с т ь П П Ф н е о п р е д е л я е т р а с п р е д е л е н и я г р у п п. Как и в табл. 5-1 и 5-2, целую часть ППФ надо прибавить к 1 или 0, чтобы найти число единичных катушек в группе.

**5-7. Допустимая степень несимметрии.** Несимметрия в 2—3 градуса по углу или 2—3% по величине между э. д. с. фаз обмотки не представляет опасности для двухфазной машины или для трехфазной машины при соединении обмотки звездой. С л е д у е т и з б е г а т ь с о е д и н е н и я т р е у г о л ь н и к о м н е с и м м е т р и ч н ы х о б м о т о к. Н е с л е д у е т в к л ю ч а т ь п а р а л л е л ь н о ч а с т и о б м о т к и, э. д. с. к о т о р ы х р а з л и ч а ю т с я п о ф а з е и п о в е л и ч и н е (см. также § 5-5).

В обмотках с числом пазов, кратным числу фаз, несимметрия тем больше, чем меньше числитель ППФ, написанного в форме $\frac{N}{d}$. Например, обмотка с ППФ $= 4/3$ имеет бо́льшую несимметрию, чем обмотка с ППФ $= 5/3$, так как в первом случае числитель $N = 4$ меньше, чем числитель



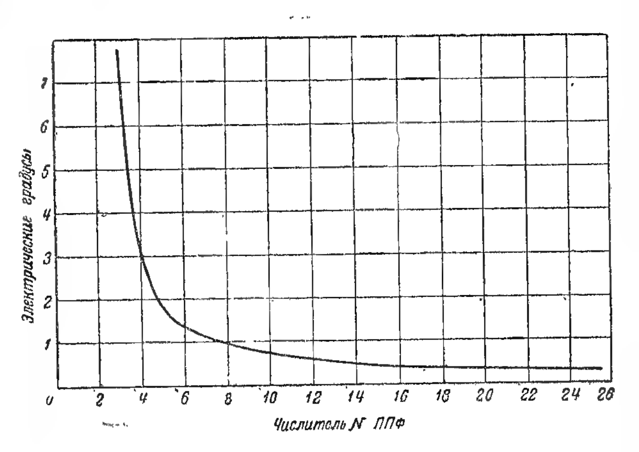



Рис. 5-1. Отклонение по углу двухфазных обмоток с числом пазов, кратным 2.

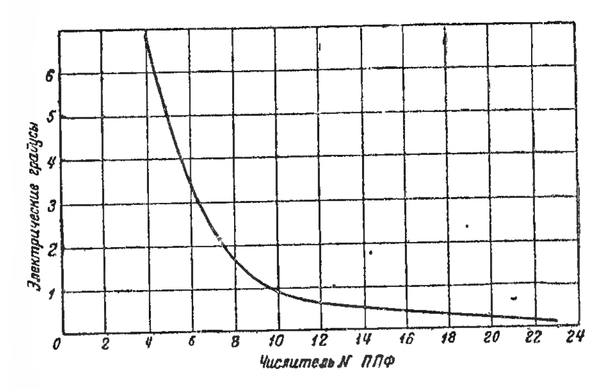



Рис. 5-2. Отклонение по углу трехфазных обмоток с числом пазов, кратным 3.

$N = 5$ во втором случае. Это доказывается в приложении 4.

Рис. 5-1 показывает отклонение по фазному углу для двухфазной обмотки с числом пазов, кратным 2. Несимметрия вызвана тем, что знаменатель $d$ ППФ кратен 2 (числу фаз). В двухфазных обмотках этого типа э. д. с. всегда равны. Можно видеть, что отклонение по фазному углу быстро уменьшается с увеличением числителя $N$ ППФ.

Табл. 5-7 дает отклонения по величине э. д. с. и фазному углу для трехфазных обмоток с числом пазов, кратным 3. Как и для двухфазных обмоток, несимметрия вызвана тем, что знаменатель $d$ ППФ кратен числу фаз 3. Можно видеть, что отклонение по величине э. д. с. вообще мало. Отклонение по углу зависит от $N$. При $N=7$ отклонение по углу уже получается меньше 3°. Рис. 5-2 показывает наибольшие отклонения по углу, т. е. для фазы $B$.

Отклонения по углу и величине э. д. с. для двухфазных и трехфазных обмоток с числом пазов, не кратным числу фаз, приведены в табл. 5-5 и 5-6. Здесь значения отклонений зависят от схемы обмотки, а также от числа и положения пазов, из которых удаляются катушки. Метод расчета несимметрии приведен в приложении 4.

Таблица 5-1

**Группировка катушек несимметричных 2-фазных обмоток с числом пазов, кратным числу фаз**

| Дробная часть ППФ | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полное число повторений группировки равно числу полюсов, разделенному на | Максимальное число параллельных ветвей равно числу полюсов, разделенному на |
|---|---|---|---|
| 1/2 | 1 0 0 1 | 2 | 2 |
| 1/4<br>3/4 | 1 0 0 0 0 1 0 0<br>1 1 0 1 1 1 1 0 | 4 | 4 |
| 1/6<br>5/6 | 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0<br>1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 | 6 | 6 |
| 1/8<br>3/8<br>5/8<br>7/8 | 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0<br>1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 8 | 8 |
| 1/10<br>3/10<br>7/10<br>9/10 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0<br>1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 10 | 10 |

Группировка катушек приведена применительно к дробной части ППФ. Чтобы определить группировку для ППФ, равного дробной части плюс целое число, надо целое число прибавить к значениям, приведенным в таблице группировки катушек.

Таблица 5-2

## Группировка катушек несимметричных 3-фазных обмоток с числом пазов, кратным числу фаз

| Дробная часть ППФ | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полное число повторений группировки равно числу полюсов, разделенному на | Максимальное число параллельных ветвей равно числу полюсов, разделенному на |
|---|---|---|---|
| $^1/_3$<br>$^2/_3$ | 1 0 0 0 0 1 0 1 0<br>1 0 1 0 1 1 1 1 0 | 3 | 3 |
| $^1/_6$<br>$^5/_6$ | 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0<br>1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 | 6 | 6 |
| $^1/_9$<br>$^2/_9$<br>$^4/_9$<br>$^5/_9$<br>$^7/_9$<br>$^8/_9$ | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0<br>1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0<br>1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0<br>1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 9 | 9 |
| $^1/_{12}$<br>$^5/_{12}$<br>$^7/_{12}$<br>$^{11}/_{12}$ | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0<br>1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0<br>1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0<br>1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 12 | 12 |

Группировка катушек приведена применительно к *дробной части* ППФ. Чтобы определить группировку для ППФ, равного *дробной части плюс целое число*, надо целое число прибавить к значениям, приведенным в таблице группировки катушек.



Таблица 5-3

## Значения ППФ для 2-фазных обмоток с числом пазов, не кратным числу фаз

| Число полюсов | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | |
| 11 | $2\frac{3}{4}$ | $1\frac{3}{8}$ | | | | | |
| 13 | $3\frac{1}{4}$ | $1\frac{5}{8}$ | $1\frac{1}{12}$ | | | | |
| 15 | $3\frac{3}{4}$ | $1\frac{7}{8}$ | $1\frac{1}{4}$ | | | | |
| 17 | $4\frac{1}{4}$ | $2\frac{1}{8}$ | $1\frac{5}{12}$ | $1\frac{1}{16}$ | | | |
| 19 | $4\frac{3}{4}$ | $2\frac{3}{8}$ | $1\frac{7}{12}$ | $1\frac{3}{16}$ | | | |
| 21 | $5\frac{1}{4}$ | $2\frac{5}{8}$ | $1\frac{3}{4}$ | $1\frac{5}{16}$ | | | |
| 23 | $5\frac{3}{4}$ | $2\frac{7}{8}$ | $1\frac{11}{12}$ | $1\frac{7}{16}$ | $1\frac{3}{20}$ | | |
| 25 | $6\frac{1}{4}$ | $3\frac{1}{8}$ | $2\frac{1}{12}$ | $1\frac{9}{16}$ | $1\frac{1}{4}$ | $1\frac{1}{24}$ | |
| 27 | | $3\frac{3}{8}$ | $2\frac{1}{4}$ | $1\frac{11}{16}$ | $1\frac{7}{20}$ | $1\frac{1}{8}$ | |
| 29 | | $3\frac{5}{8}$ | $2\frac{5}{12}$ | $1\frac{13}{16}$ | $1\frac{9}{20}$ | $1\frac{5}{24}$ | |
| 31 | | $3\frac{7}{8}$ | $2\frac{7}{12}$ | $1\frac{15}{16}$ | $1\frac{11}{20}$ | $1\frac{7}{24}$ | $1\frac{3}{28}$ |
| 33 | | $4\frac{1}{8}$ | $2\frac{3}{4}$ | $2\frac{1}{16}$ | $1\frac{13}{20}$ | $1\frac{3}{8}$ | $1\frac{5}{28}$ |
| 35 | | $4\frac{3}{8}$ | $2\frac{11}{12}$ | $2\frac{3}{16}$ | $1\frac{3}{4}$ | $1\frac{11}{24}$ | $1\frac{1}{4}$ |
| 37 | | $4\frac{5}{8}$ | $3\frac{1}{12}$ | $2\frac{5}{16}$ | $1\frac{17}{20}$ | $1\frac{13}{24}$ | $1\frac{9}{28}$ |
| 39 | | $4\frac{7}{8}$ | $3\frac{1}{4}$ | $2\frac{7}{16}$ | $1\frac{19}{20}$ | $1\frac{5}{8}$ | $1\frac{11}{28}$ |
| 41 | | $5\frac{1}{8}$ | $3\frac{5}{12}$ | $2\frac{9}{16}$ | $2\frac{1}{20}$ | $1\frac{17}{24}$ | $1\frac{13}{28}$ |
| 43 | | $5\frac{3}{8}$ | $3\frac{7}{12}$ | $2\frac{11}{16}$ | $2\frac{3}{20}$ | $1\frac{19}{24}$ | $1\frac{15}{28}$ |
| 45 | | | $3\frac{3}{4}$ | $2\frac{13}{16}$ | $2\frac{1}{4}$ | $1\frac{7}{8}$ | $1\frac{17}{28}$ |
| 47 | | | $3\frac{11}{12}$ | $2\frac{15}{16}$ | $2\frac{7}{20}$ | $1\frac{23}{24}$ | $1\frac{19}{28}$ |
| 49 | | | $4\frac{1}{12}$ | $3\frac{1}{16}$ | $2\frac{9}{20}$ | $2\frac{1}{24}$ | $1\frac{3}{4}$ |
| 51 | | | $4\frac{1}{4}$ | $3\frac{3}{16}$ | $2\frac{11}{20}$ | $2\frac{1}{8}$ | $1\frac{23}{28}$ |
| 53 | | | $4\frac{5}{12}$ | $3\frac{5}{16}$ | $2\frac{13}{20}$ | $2\frac{5}{24}$ | $1\frac{25}{28}$ |
| 55 | | | $4\frac{7}{12}$ | $3\frac{7}{16}$ | $2\frac{3}{4}$ | $2\frac{7}{24}$ | $1\frac{27}{28}$ |
| 57 | | | $4\frac{3}{4}$ | $3\frac{9}{16}$ | $2\frac{17}{20}$ | $2\frac{3}{8}$ | $2\frac{1}{28}$ |
| 59 | | | $4\frac{11}{12}$ | $3\frac{11}{16}$ | $2\frac{19}{20}$ | $2\frac{11}{24}$ | $2\frac{3}{28}$ |
| 61 | | | | $3\frac{13}{16}$ | $3\frac{1}{20}$ | $2\frac{13}{24}$ | $2\frac{5}{28}$ |
| 63 | | | | $3\frac{15}{16}$ | $3\frac{3}{20}$ | $2\frac{5}{8}$ | $2\frac{7}{28}$ |
| 65 | | | | $4\frac{1}{16}$ | $3\frac{1}{4}$ | $2\frac{17}{24}$ | $2\frac{9}{28}$ |
| 67 | | | | $4\frac{3}{16}$ | $3\frac{7}{20}$ | $2\frac{19}{24}$ | $2\frac{11}{28}$ |
| 69 | | | | | $3\frac{9}{20}$ | $2\frac{7}{8}$ | $2\frac{13}{28}$ |
| 71 | | | | | $3\frac{11}{20}$ | $2\frac{23}{24}$ | $2\frac{15}{28}$ |
| 73 | | | | | $3\frac{13}{20}$ | $3\frac{1}{24}$ | $2\frac{17}{28}$ |
| 75 | | | | | $3\frac{3}{4}$ | $3\frac{1}{8}$ | $2\frac{19}{28}$ |
| 77 | | | | | $3\frac{17}{20}$ | $3\frac{5}{24}$ | $2\frac{3}{4}$ |
| 79 | | | | | $3\frac{19}{20}$ | $3\frac{7}{24}$ | $2\frac{23}{28}$ |
| 81 | | | | | $4\frac{1}{20}$ | $3\frac{3}{8}$ | $2\frac{25}{28}$ |
| 83 | | | | | $4\frac{3}{20}$ | $3\frac{11}{24}$ | $2\frac{27}{28}$ |
| 85 | | | | | | $3\frac{13}{24}$ | $3\frac{1}{28}$ |
| 87 | | | | | | $3\frac{5}{8}$ | $3\frac{3}{28}$ |
| 89 | | | | | | $3\frac{17}{24}$ | $3\frac{5}{28}$ |
| 91 | | | | | | $3\frac{19}{24}$ | $3\frac{7}{28}$ |
| 95 | | | | | | $3\frac{23}{24}$ | 3 [illegible]/28 |
| 97 | | | | | | $4\frac{1}{24}$ | $3\frac{13}{28}$ |
| 99 | | | | | | | $3\frac{15}{28}$ |
| 101 | | | | | | | $3\frac{27}{28}$ |
| 105 | | | | | | | $3\frac{3}{4}$ |
| 107 | | | | | | | $3\frac{23}{28}$ |
| 109 | | | | | | | $3\frac{25}{28}$ |
| 111 | | | | | | | $3\frac{27}{28}$ |
| 113 | | | | | | | $4\frac{1}{28}$ |

Таблица 5-4

## Значения ППФ для 3-фазных обмоток с числом пазов, не кратным числу фаз

| Число полюсов | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | | | | |
| 8 | 1 1/3 | | | | | | | | | | |
| 10 | 1 2/3 | | | | | | | | | | |
| 14 | 2 1/3 | | | | | | | | | | |
| 16 | 2 2/3 | 1 1/3 | | | | | | | | | |
| 20 | 3 1/3 | 1 2/3 | 1 1/9 | | | | | | | | |
| 22 | 3 2/3 | 1 5/6 | 1 2/9 | | | | | | | | |
| 26 | 4 1/3 | 2 1/6 | 1 4/9 | | | | | | | | |
| 28 | 4 2/3 | 2 1/3 | 1 5/9 | | | | | | | | |
| 32 | | 2 2/3 | 1 7/9 | 1 1/3 | | | | | | | |
| 34 | | 2 5/6 | 1 8/9 | 1 5/12 | | | | | | | |
| 38 | | 3 1/6 | 2 1/9 | 1 7/12 | | | | | | | |
| 40 | | 3 1/3 | 2 2/9 | 1 2/3 | 1 1/3 | 1 1/9 | | | | | |
| 44 | | 3 2/3 | 2 4/9 | 1 5/6 | 1 7/15 | 1 2/9 | | | | | |
| 46 | | 3 5/6 | 2 5/9 | 1 11/12 | 1 8/15 | 1 5/18 | | | | | |
| 50 | | 4 1/6 | 2 7/9 | 2 1/12 | 1 2/3 | 1 7/18 | | | | | |
| 52 | | 4 1/3 | 2 8/9 | 2 1/6 | 1 11/15 | 1 4/9 | | | | | |
| 56 | | 4 2/3 | 3 1/9 | 2 1/3 | 1 13/15 | 1 5/9 | 1 1/3 | | | | |
| 58 | | | 3 2/9 | 2 5/12 | 1 14/15 | 1 11/18 | 1 8/21 | | | | |
| 62 | | | 3 4/9 | 2 7/12 | 2 1/15 | 1 13/18 | 1 10/21 | | | | |
| 64 | | | 3 5/9 | 2 2/3 | 2 2/15 | 1 7/9 | 1 11/21 | 1 1/3 | | | |
| 68 | | | 3 7/9 | 2 5/6 | 2 4/15 | 1 8/9 | 1 13/21 | 1 5/12 | 1 7/27 | | |
| 70 | | | 3 8/9 | 2 11/12 | 2 1/3 | 1 17/18 | 1 2/3 | 1 11/24 | 1 8/27 | | |
| 74 | | | 4 1/9 | 3 1/12 | 2 7/15 | 2 1/18 | 1 16/21 | 1 13/24 | 1 10/27 | | |
| 76 | | | 4 2/9 | 3 1/6 | 2 8/15 | 2 1/9 | 1 17/21 | 1 7/12 | 1 11/27 | | |
| 80 | | | 4 4/9 | 3 1/3 | 2 2/3 | 2 2/9 | 1 19/21 | 1 2/3 | 1 13/27 | 1 1/3 | |
| 82 | | | 4 5/9 | 3 5/12 | 2 11/15 | 2 5/18 | 1 20/21 | 1 17/24 | 1 14/27 | 1 11/30 | |
| 86 | | | 4 8/9 | 3 7/12 | 2 13/15 | 2 7/18 | 2 1/21 | 1 19/24 | 1 16/27 | 1 13/30 | |
| 88 | | | | 3 2/3 | 2 14/15 | 2 4/9 | 2 2/21 | 1 5/6 | 1 17/27 | 1 7/15 | 1 1/3 |

*Продолжение табл. 5-4*

| Число полюсов | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсно-фазных групп | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 |
| Число пазов | ППФ | | | | | | | | | | |
| 92 | | | | 3 5/6 | 3 1/15 | 2 5/9 | 2 4/21 | 1 11/12 | 1 19/27 | 1 8/15 | 1 13/33 |
| 98 | | | | 4 1/12 | 3 4/15 | 2 13/18 | 2 1/3 | 2 1/24 | 1 22/27 | 1 19/30 | 1 16/33 |
| 100 | | | | 4 1/6 | 3 1/3 | 2 7/9 | 2 8/21 | 2 1/12 | 1 23/27 | 1 2/3 | 1 17/33 |
| 104 | | | | 4 1/3 | 3 7/15 | 2 8/9 | 2 10/21 | 2 1/6 | 1 25/27 | 1 11/15 | 1 19/33 |
| 110 | | | | 4 7/12 | 3 2/3 | 3 1/18 | 2 13/21 | 2 7/24 | 2 1/27 | 1 5/6 | 1 2/3 |
| 112 | | | | 4 2/3 | 3 11/15 | 3 1/9 | 2 2/3 | 2 1/3 | 2 2/27 | 1 13/15 | 1 23/33 |
| 116 | | | | | 3 13/15 | 3 2/9 | 2 16/21 | 2 5/12 | 2 4/27 | 1 14/15 | 1 25/33 |
| 124 | | | | | 4 2/15 | 3 4/9 | 2 20/21 | 2 7/12 | 2 8/27 | 2 1/15 | 1 29/33 |
| 128 | | | | | 4 4/15 | 3 5/9 | 3 1/21 | 2 2/3 | 2 10/27 | 2 2/15 | 1 31/33 |
| 130 | | | | | 4 1/3 | 3 11/18 | 3 2/21 | 2 17/24 | 2 11/27 | 2 1/6 | 1 32/33 |
| 136 | | | | | 4 8/15 | 3 7/9 | 3 5/21 | 2 5/6 | 2 14/27 | 2 4/15 | 2 2/33 |
| 140 | | | | | 4 2/3 | 3 8/9 | 3 1/3 | 2 11/12 | 2 16/27 | 2 1/3 | 2 4/33 |
| 148 | | | | | | 4 1/9 | 3 11/21 | 3 1/12 | 2 20/27 | 2 7/15 | 2 8/33 |
| 152 | | | | | | 4 2/9 | 3 13/21 | 3 1/6 | 2 22/27 | 2 8/15 | 2 10/33 |
| 154 | | | | | | 4 5/18 | 3 2/3 | 3 5/24 | 2 23/27 | 2 17/30 | 2 1/3 |
| 160 | | | | | | 4 4/9 | 3 17/21 | 3 1/3 | 2 26/27 | 2 2/3 | 2 14/33 |
| 164 | | | | | | 4 5/9 | 3 19/21 | 3 5/12 | 3 1/27 | 2 11/15 | 2 16/33 |
| 172 | | | | | | 4 7/9 | 4 2/21 | 3 7/12 | 3 5/27 | 2 13/15 | 2 20/33 |
| 176 | | | | | | 4 8/9 | 4 4/21 | 3 2/3 | 3 7/27 | 2 14/15 | 2 2/3 |
| 182 | | | | | | | 4 1/3 | 3 19/24 | 3 10/27 | 3 1/30 | 2 25/33 |
| 196 | | | | | | | 4 2/3 | 4 1/12 | 3 17/27 | 3 4/15 | 2 32/33 |
| 200 | | | | | | | | 4 1/6 | 3 19/27 | 3 1/3 | 3 1/33 |
| 208 | | | | | | | | 4 1/3 | 3 23/27 | 3 7/15 | 3 5/33 |
| 220 | | | | | | | | 4 7/12 | 4 2/27 | 3 2/3 | 3 1/3 |
| 224 | | | | | | | | 4 2/3 | 4 4/27 | 3 11/15 | 3 13/33 |
| 242 | | | | | | | | | 4 13/27 | 4 1/30 | 3 2/3 |
| 260 | | | | | | | | | 4 17/27 | 4 1/3 | 3 31/33 |
| 280 | | | | | | | | | | 4 2/3 | 4 8/33 |
| 286 | | | | | | | | | | | 4 1/3 |
| 308 | | | | | | | | | | | 4 2/3 |

Таблица 5-5

**Группировка катушек и несимметрия по величине и фазному углу для 2-фазных обмоток с числом пазов, не кратным числу фаз**

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется: Несимметрия по величине (проценты) | Несимметрия по углу (электрические градусы) | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Полюсно-фазная группа расщепляется: Несимметрия по величине (проценты) | Несимметрия по углу (электрические градусы) | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется от паза (номер) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $1^7/_8$ | 4 | 15 | 1 | 1 1 1 1 1 1 (1) 0 | 4,38 | 1° | 0,893 | 13 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| $1^{11}/_{12}$ | 6 | 23 | 1 | (1) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 | 2,70 | 21′ | 0,896 | 2 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| $1^{11}/_{16}$ | 8 | 27 | 1 | 1 1 (1) 0 1 1 [0] 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | 0,00 | 3°20′ | 0,908 | 6 | 1,99 | 30′ | 0,898 | 12* |
| $1^{13}/_{16}$ | 8 | 29 | 1 | 1 1 1 1 (1) 0 1 1 1 1 [0] 1 1 1 1 0 | 0,00 | 3°6′ | 0,908 | 10 | 2,43 | 0′ | 0,898 | 20* |
| $1^{15}/_{16}$ | 8 | 31 | 1 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 (1) 0 | 2,27 | 12′ | 0,898 | 29 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| $2^1/_4$ | 2 | 9 | 1 | [1] 0 0 0 | 0,00 | 10° | 0,922 | 3 | 8,02 | 0° | 0,887 | 2 |
| $2^3/_4$ | 2 | 11 | 1 | 1 1 [1] 0 | 0,00 | 8°11′ | 0,920 | 9 | 6,52 | 1°38′ | 0,890 | 8 |
| $2^1/_8$ | 4 | 17 | 1 | [1] 0 0 0 0 0 0 0 | 0,00 | 5°17′ | 0,913 | 3 | 4,00 | 0° | 0,895 | 2 |
| $2^3/_8$ | 4 | 19 | 1 | [1] 0 1 0 0 1 0 0 | 0,00 | 4°44′ | 0,912 | 1 | 3,42 | 38′ | 0,896 | 2 |
| $2^5/_8$ | 4 | 21 | 1 | 1 1 0 1 (1) 0 [1] 0 | 0,00 | 4°17′ | 0,912 | 14 | 3,29 | 0° | 0,897 | 18 |
| $2^7/_8$ | 4 | 23 | 1 | 1 [1] 1 1 1 (1) 0 1 | 0,00 | 3°55′ | 0,910 | 18 | 3,09 | 26′ | 0,898 | 5 |
| $2^1/_{12}$ | 6 | 25 | 1 | [1] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 0,00 | 3°36′ | 0,908 | 3 | 2,29 | 0° | 0,898 | 2 |
| $2^1/_4$ | 6 | 27 | 1 | (1) 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | 0,00 | 2°18′ | 0,927 | 3 | 2,61 | 48′ | 0,898 | 2 |
| $2^5/_{12}$ | 6 | 29 | 1 | 1 0 [1] 0 (1) 0 0 1 0 1 0 0 | 0,00 | 3°6′ | 0,908 | 13 | 2,44 | 0′ | 0,898 | 7 |
| $2^7/_{12}$ | 6 | 31 | 1 | 1 1 0 1 0 1 (1) 0 1 0 [1] 0 | 0,00 | 2°54′ | 0,908 | 19 | 2,28 | 12′ | 0,898 | 28 |
| $2^3/_4$ | 6 | 33 | 1 | [1] 1 (1) 0 1 1 0 1 1 1 1 0 | 0,00 | 2°3′ | 0,919 | 9 | 2,34 | 1°1′ | 0,896 | 2 |
| $2^{11}/_{12}$ | 6 | 35 | 1 | 1 1 1 1 [1] 1 1 1 1 1 (1) 0 | 0,00 | 2°34′ | 0,908 | 33 | 1,94 | 3′ | 0,900 | 14 |
| $2^1/_{16}$ | 8 | 33 | 1 | (1) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 0,00 | 2°44′ | 0,908 | 3 | 2,28 | 0′ | 0,896 | 2 |
| $2^3/_{16}$ | 8 | 35 | 1 | (1) 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 | 0,00 | 2°34′ | 0,908 | 1 | 1,94 | 7′ | 0,900 | 2 |
| $2^5/_{16}$ | 8 | 37 | 1 | (1) 0 0 1 0 0 [1] 0 0 1 0 0 0 1 0 0 | 0,00 | 2°26′ | 0,908 | 1 | 1,43 | 0 | 0,900 | 16 |
| $2^7/_{16}$ | 8 | 39 | 1 | 1 0 [1] 0 1 0 (1) 0 0 1 0 1 0 1 0 0 | 0,00 | 2°18′ | 0,908 | 18 | 1,51 | 2′ | 0,903 | 7 |
| $2^9/_{16}$ | 8 | 41 | 1 | 1 1 0 1 0 1 0 1 (1) 0 1 0 [1] 0 1 0 | 0,00 | 2°12′ | 0,903 | 24 | 1,39 | 0′ | 0,897 | 33 |
| $2^{11}/_{16}$ | 8 | 43 | 1 | 1 1 (1) 0 [1] 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | 0,00 | 2°6′ | 0,900 | 9 | 1,16 | 6′ | 0,894 | 13 |
| $2^{13}/_{16}$ | 8 | 45 | 1 | 1 1 [1] 1 (1) 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 | 0,00 | 2°0′ | 0,904 | 15 | 1,26 | 0′ | 0,903 | 8 |
| $2^{15}/_{16}$ | 8 | 47 | 1 | 1 1 1 1 1 1 [1] 1 1 1 1 1 1 1 (1) 0 | 0,00 | 1°55′ | 0,906 | 45 | 1,46 | 6′ | 0,897 | 20 |
| $3^1/_4$ | 2 | 13 | 1 | (1) 0 [0] 0 | 0,00 | 6°55′ | 0,917 | 4 | 5,08 | 0′ | 0,895 | 9 |
| $3^1/_8$ | 4 | 25 | 1 | (1) 0 0 0 [0] 0 0 0 | 0,00 | 3°36′ | 0,908 | 4 | 2,75 | 0 | 0,896 | 15 |
| $3^3/_8$ | 4 | 27 | 1 | 1 0 (1) 0 0 1 [0] 0 | 0,00 | 3°20′ | 0,903 | 11 | 1,94 | 30′ | 0,898 | 23 |
| $3^1/_{12}$ | 6 | 37 | 1 | (1) 0 0 0 0 0 [0] 0 0 0 0 0 | 0,00 | 2°26′ | 0,907 | 4 | 1,77 | 0′ | 0,898 | 21 |
| $3^1/_4$ | 6 | 39 | 1 | (1) 0 [0] 0 0 1 0 0 1 0 0 0 | 0,00 | 1°53′ | 0,918 | 4 | 1,75 | 19′ | 0,898 | 9 |
| $3^1/_{16}$ | 8 | 49 | 1 | (1) 0 0 0 0 0 0 0 [0] 0 0 0 0 0 0 0 | 0,00 | 1°49′ | 0,906 | 4 | 1,15 | 0′ | 0,900 | 27 |
| $3^3/_{16}$ | 8 | 51 | 1 | 1 0 [0] 0 0 1 0 0 0 0 (1) 0 0 0 0 0 | 0,00 | 1°46′ | 0,903 | 36 | 1,31 | 0′ | 0,894 | 9 |

* — удаляется вся малая полюсно-фазная группа.
○ — выключаемая катушка находится в начале или конце полюсно-фазной группы.
□ — выключаемая катушка находится внутри полюсно-фазной группы (группа расщепляется).

**Группировка катушек и несимметрия по величине и фазному углу для 3-фазных обмоток с числом пазов, не кратным числу фаз**

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется: Несимметрия по величине (проценты) | Несимметрия по углу (электрические градусы) | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Полюсно-фазная группа расщепляется: Несимметрия по величине (проценты) | Несимметрия по углу (электрические градусы) | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2¹/₃ | 2 | 14 | 1 | ①0 0 0①0 | 2,72 | +4°18′<br>+8°35′<br>−4°17′ | 0,960 | 3 и 12 | . . . | . . . . | . . . | . . . |
| | 4 | 28 | 1 | 0①0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 | 0,23 | +3°4′<br>+17′<br>+2°47′ | 0,956 | 3 | . . . | . . . . | . . . | . . . |
| | 4 | 28 | 1 | 0 1 0 1⓪0 0 1 0 0 0 1 | 2,67 | +8′<br>+17′<br>−9′ | 0,938 | 11 | . . . | . . . . | . | . . . |
| | 8 | 56 | 2 | 0 0 1 0 1 0 0①0 1 0 0<br>0 0 1 0 1 0 0①0 1 0 0 | 0,88 | +6′<br>+6′<br>0′ | 0,950 | 17 и 47 | . . . | . . | . . . | . . . |
| | 10 | 70 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0<br>1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0①0 | 0,91 | +36′<br>−1°5<br>+1°41′ | 0,953 | 66 | . . . | . . . . | . . . | . . . |
| | 14 | 98 | 2 | 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0①0 1 0 0 1 0 0<br>0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0①0 1 0 0 1 0 0 | 0,66 | −26′<br>−54′<br>+28′ | 0,950 | 31 и 82 | . . . | . . . . | . . . | . . . |
| | 16 | 112 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0①0 0 1 0 0 | 0,57 | −8′<br>−1°34′<br>+1°26′ | 0,950 | 101 | . . . | . . . . | . . . | . . . |
| | 16 | 112 | 2 | 0 0 1 0 0 1 0 0①0 1 0 0 1 0①0 0 1 0 0 1 0 0<br>0 0 1 0 0 1 0 0①0 1 0 0 1 0①0 0 1 0 0 1 0 0 | 0,87 | +8′<br>+18′<br>−10′ | 0,953 | 19, 38, 75 и 94 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 20 | 140 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0①0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0①0 0 | 0,68 | −39′<br>−1°11′<br>+32′ | 0,950 | 47 и 136 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется: Несимметрия по величине (проценты) | Полюсно-фазная группа не расщепляется: Несимметрия по углу (электрические градусы) | Полюсно-фазная группа не расщепляется: Коэффициент распределения | Полюсно-фазная группа не расщепляется: Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Полюсно-фазная группа расщепляется: Несимметрия по величине (проценты) | Полюсно-фазная группа расщепляется: Несимметрия по углу (электрические градусы) | Полюсно-фазная группа расщепляется: Коэффициент распределения | Полюсно-фазная группа расщепляется: Катушечная сторона удаляется из паза (номер) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $2^1/_3$ | 20 | 140 | 1 | (1)(0)0 0 1 0 0 0 (1) 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 (1) 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 (1) 0 0 | 1,14 | +8′<br>+17′<br>−9′ | 0,952 | 3, 4, 19, 47 и 136 | ... | ... | ... | ... |
| | 22 | 154 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0<br>0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1<br>0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 (1) 0 | 0,62 | −22′<br>−1°44′<br>+1°22′ | 0,948 | 150 | ... | ... | ... | ... |
| | 22 | 154 | 2 | 1 0 0 1 0 0 1 0 0 (1) 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0<br>0 0 (1) 0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0<br>(1) 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 (1) 0 0 1 0 0 1 0 0 1 | 0,63 | −26′<br>−41′<br>+15′ | 0,953 | 24, 54, 101 и 131 | ... | ... | ... | ... |
| $2^2/_3$ | 2 | 16 | 1 | 1 0 1 0 (1) 1 | 3,15 | −1°36′<br>+1°36′<br>−3°12′ | 0,945 | 13 | ... | ... | ... | ... |
| | 4 | 32 | 1 | 1 0 1 (1) 1 0 1 0 1 0 1 (1) | 0,63 | +48′<br>+1°35′<br>−47′ | 0,953 | 11 и 30 | ... | ... | ... | ... |
| | 8 | 64 | 1 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 (1) 1 | 1,80 | −1°1′<br>−55′<br>−6′ | 0,946 | 61 | ... | ... | ... | ... |
| | 10 | 80 | 1 | 0 1 1 1 0 (1) 1 1 0 1 1 0 1 0 1<br>0 1 1 0 1 1 (1) 0 1 1 1 0 1 0 1 | 0,81 | −12′<br>−28′<br>+16′ | 0,950 | 14 и 59 | ... | ... | ... | ... |
| | 14 | 112 | 1 | 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0<br>(1) 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 | 1,13 | +17′<br>−1°8′<br>+1°25′ | 0,951 | 59 | ... | ... | ... | ... |
| | 14 | 112 | 2 | 0 1 1 0 1 1 (1) 0 1 1 0 1 1 0 (1) 1 1 0 1 1 0<br>0 1 1 0 1 1 (1) 0 1 1 0 1 1 0 (1) 1 1 0 1 1 0 | 1,15 | +5′<br>+9′<br>−4′ | 0,958 | 19, 33, 75 и 94 | ... | ... | ... | ... |
| | 16 | 128 | 1 | 0 1 1 1 0 (1) 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 (1) 1 0 1 1<br>0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 | 1,00 | −26′<br>−55′<br>+29′ | 0,956 | 14 и 51 | ... | ... | ... | ... |

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется: Несимметрия по величине (проценты) | Несимметрия по углу (электрические градусы) | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Полюсно-фазная группа расщепляется: Несимметрия по величине (проценты) | Несимметрия по углу (электрические градусы) | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $2^2/_3$ | 16 | 128 | 1 | 0 1 1 1 0 ① 1 1 0 1 1 0 1 1 0 ① 0 ① 0 ① 1 0 ① 1<br>0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 | 1,53 | —6′<br>+21′<br>—27′ | 0,954 | 14, 43, 46, 51 и 61 | ... | ... | ... | ... |
| | 20 | 160 | 1 | 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1<br>0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 ①<br>0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 | 0,89 | —1°20′<br>—1°22′<br>+2′ | 0,956 | 110 | ... | ... | ... | ... |
| | 20 | 160 | 2 | 0 1 1 0 1 1 0 1 1 ① 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 ①<br>1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1 ① 0 1<br>1 0 1 1 0 1 1 0 ① 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | 1,20 | —19′<br>—22′<br>+3′ | 0,954 | 27, 54, 107 и 134 | ... | ... | ... | ... |
| | 22 | 176 | 1 | 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1<br>1 0 1 ① 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0<br>1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 ① 1 0 1 1 1 0 1 0 1 | 0,90 | —32′<br>—1°7′<br>+35′ | 0,953 | 75 и 150 | ... | ... | ... | ... |
| | 22 | 176 | 1 | 0 1 1 ① 0 ① 1 ① 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1<br>1 0 1 ① 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0<br>1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 ① 1 0 1 1 1 0 1 0 1 | 1,46 | +7′<br>—13′<br>+20′ | 0,954 | 11, 14, 20, 75 и 150 | ... | ... | ... | ... |
| $3^1/_3$ | 2 | 20 | 1 | ① 0 0 0 0 ① | 1,37 | +3°<br>+6°<br>—3° | 0,966 | 4 и 17 | ... | ... | ... | ... |
| | 4 | 40 | 1 | 0 ① 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 | 0,00 | +2°25′<br>+33′<br>+1°52′ | 0,954 | 4 | ... | ... | ... | ... |
| | 4 | 40 | 1 | 0 1 0 1 ⓪ 0 0 1 0 0 0 1 | 1,13 | +33′<br>+33′<br>0′ | 0,950 | 15 | ... | ... | ... | ... |
| | 8 | 80 | 1 | 0 ① 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 ① 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 | 0,80 | +19′<br>+34′<br>—15′ | 0,954 | 4 и 47 | ... | ... | ... | . |
| | 10 | 100 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0<br>1 0 0 1 ⓪ 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 | 0,32 | +3′<br>—26′<br>+29′ | 0,952 | 65 | ... | ... | ... | ... |

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется | | | | Полюсно-фазная группа расщепляется | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) |
| | | | | | по величине (проценты) | по углу (электрические градусы) | | | по величине (проценты) | по углу (электрические градусы) | | |
| $3^1/_3$ | 14 | 140 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 ① 1 0 0 0 1 0 0 0 1<br>0 ① 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 | 0,91 | 0′<br>—7′<br>+7′ | 0,954 | 37 и 74 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 16 | 160 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 ① 0 0 1 0 0 | 0,79 | +13′<br>—43′<br>+56′ | 0,954 | 144 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 20 | 200 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 ① 0 1 0 0 0 1 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0<br>1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 ① 0 0 | 0,79 | —12′<br>—29′<br>+17′ | 0,954 | 47 и 194 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 22 | 220 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0<br>0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1<br>0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 ① 0 | 0,86 | —3′<br>—49′<br>+46′ | 0,954 | 214 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| $3^2/_3$ | 2 | 22 | 1 | ① 0 1 1 1 0 | 0,00 | +5°23′<br>+1°32′<br>+3°56′ | 0,957 | 4 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 4 | 44 | 1 | 1 0 1 ① 1 0 1 0 1 0 1 ① | 0,45 | +50′<br>+1°39′<br>—49′ | 0,952 | 15 и 41 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 8 | 88 | 1 | 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 ① 1 | 1,45 | —46′<br>—24′<br>—22′ | 0,952 | 84 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 10 | 110 | 1 | 0 1 1 1 0 ① 1 1 0 1 1 0 1 0 1<br>0 1 1 0 1 1 ① 0 1 1 1 0 1 0 1 | 0,58 | 0′<br>0′<br>0′ | 0,954 | 19 и 81 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 14 | 154 | 1 | 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0<br>① 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 | 0,62 | +41′<br>—40′<br>+1°21′ | 0,955 | 81 | . . . | . . . | . . . . | . . . |
| | 16 | 176 | 1 | 0 1 1 1 0 ① 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 ① 1 0 1 1<br>0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 | 0,45 | —11′<br>—24′<br>+13′ | 0,954 | 19 и 70 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется | | | | Полюсно-фазная группа расщепляется | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) |
| | | | | | по величине (проценты) | по углу (электрические градусы) | | | по величине (проценты) | по углу (электрические градусы) | | |
| $3^2/_3$ | 20 | 220 | 1 | 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1<br>0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 (1)<br>0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 | 0,57 | —53′<br>—44′<br>—9′ | 0,954 | 151 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 20 | 220 | 2 | 0 1 1 0 1 1 0 1 1 (1) 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 (1)<br>1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1 (1) 0 1<br>1 0 1 1 0 1 1 0 (1) 1 1 0 1 1 0 1 1 0 | 0,65 | —2′<br>+1′<br>—3′ | 0,954 | 37, 74, 144 и 184 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 22 | 242 | 1 | 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1<br>1 0 1 (1) 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0<br>1 0 1 0 1 1 0 1 (1) 1 0 1 1 1 0 1 0 1 | 0,72 | —16′<br>—35′<br>+19′ | 0,954 | 103 и 206 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| | 22 | 242 | 1 | 0 1 1 (1)(0)(1) 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1<br>1 0 1 (1) 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0<br>1 0 1 0 1 1 0 1 (1) 1 0 1 1 1 0 1 0 1 | 0,33 | +16′<br>+6′<br>+10′ | 0,954 | 15, 16, 19, 103 и 206 | . . . | . . . . | . . . . | . . . |
| $2^1/_6$ | 2 | 13 | 1 | [1] 0 0 0 0 0 | 0,00 | +9°14′<br>+4°37′<br>+4°37′ | 0,965 | 3 | 3,88 | +2°18′<br>—2°19′<br>+4°37′ | 0,953 | 2 |
| | 4 | 46 | 1 | [1] 0 0 0 0 0 0 0 (1) 0 0 0 | 0,91 | +2°19′<br>+4°37′<br>—2°18′ | 0,963 | 3 и 18 | 2,46 | —1°9′<br>+1°9′<br>—2°18′ | 0,954 | 2 и 18 |
| | 8 | 52 | 1 | [1] 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0<br>0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 | 0,92 | +1°54′<br>+31′<br>+1°23′ | 0,955 | 3 | 2,64 | +16′<br>—1°7′<br>+1°23′ | 0,945 | 2 |
| | 10 | 65 | 1 | [1] 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0<br>0 0 0 0 0 (1) 0 0 0 0 0 1 0 0 0 | 0,50 | +41′<br>+1°22′<br>—41′ | 0,958 | 3 и 44 | 1,73 | —46′<br>—5′<br>—41′ | 0,956 | 2 и 44 |
| | 14 | 91 | 1 | [1] 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0<br>0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 | 0,35 | +59′<br>+1′<br>+58′ | 0,957 | 3 | 1,04 | +4′<br>—54′<br>+58′ | 0,956 | 2 |
| | 16 | 104 | 1 | [1] 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0<br>0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 (1)<br>0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 | 0,61 | +18′<br>+36′<br>—18′ | 0,955 | 3 и 70 | 0,61 | —37′<br>—19′<br>—18′ | 0,954 | 2 и 70 |

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется | | | | Полюсно-фазная группа расщепляется | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) |
| | | | | | по величине (проценты) | по углу (электрические градусы) | | | по величине (проценты) | по углу (электрические градусы) | | |
| $2^5/_6$ | 2 | 17 | 1 | [1] 1 1 (1) 0 [(1)] | 0,00 | +3°31′<br>+7°3′<br>—3°32′ | 0,966 | 12 и 15 | 2,07 | —2°50′<br>+42′<br>—3°32′ | 0,959 | 2 и 15 |
| | 4 | 34 | 1 | [1] 1 1 (1) 1 0 1 1 1 1 0 1 | 0,28 | +3°31′<br>+1°17′<br>+2°14′ | 0,958 | 12 | 0,91 | +37<br>—1°37′<br>+2°14′ | 0,956 | 2 |
| | 8 | 68 | 1 | [1] 1 1 (1) 1 0 1 1 1 1 0 1<br>1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 [(1)] | 0,47 | +40′<br>+1°22′<br>—42′ | 0,958 | 12 и 66 | 0,47 | —45′<br>—3′<br>—42′ | 0,956 | 2 и 66 |
| | 10 | 85 | 1 | [1] 1 1 (1) 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1<br>1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 | 0,00 | +1°16′<br>+17′<br>+59′ | 0,953 | 12 | 0,00 | +9′<br>—50′<br>+59′ | 0,953 | 2 |
| | 14 | 119 | 1 | [1] 1 1 (1) 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1<br>1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 [(1)] | 0,27 | +14′<br>+37′<br>—23′ | 0,955 | 12 и 117 | 0,27 | —31′<br>—8′<br>—23′ | 0,955 | 2 и 117 |
| | 16 | 136 | 1 | [1] 1 1 (1) 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0<br>1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1<br>1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 | 0,00 | +48′<br>0′<br>+48′ | 0,958 | 12 | 0,46 | 0′<br>—48′<br>+48′ | 0,957 | 2 |
| $3^1/_6$ | 2 | 19 | 1 | (1) 0 0 [0] 0 0 | 0,00 | +6°19′<br>+3°10′<br>+3°9′ | 0,960 | 4 | 2,25 | +1°35′<br>—1°34′<br>+3°9 | 0,953 | 12 |
| | 4 | 38 | 1 | [(1)] 0 0 0 0 0 0 0 [(1)] 0 0 0 | 0,17 | +1°35′<br>+3°10′<br>—1°35′ | 0,960 | 4 и 26 | 1,22 | —1°35′<br>+0′<br>—1°35′ | 0,955 | 2 и 26 |
| | 8 | 76 | 1 | [(1)] 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0<br>0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 | 0,42 | +1°23′<br>+38′<br>+45′ | 0,955 | 4 | 0,42 | —1′<br>—46′<br>+45′ | 0,954 | 2 |
| | 10 | 95 | 1 | [(1)] 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0<br>0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 [(1)] 0 0 0 | 0,34 | +31′<br>+1°4′<br>—33′ | 0,957 | 4 и 83 | 0,34 | —39′<br>—6′<br>—33′ | 0,956 | 2 и 83 |

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последсвательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется | | | | Полюсно-фазная группа расщепляется | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) |
| | | | | | по величине (проценты) | по углу (электрические градусы) | | | по величине (проценты) | по углу (электрические градусы) | | |
| $3^1/_6$ | 14 | 133 | 1 | [(1)] 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0<br>0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 | 0,24 | +51′<br>+19′<br>—32′ | 0,957 | 4 | 0,24 | —2′<br>—34′<br>+32′ | 0,956 | 2 |
| | 16 | 152 | 1 | [(1)] 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0<br>0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0<br>0 0 1 0 0 0 0 0 [(1)] 0 0 0 | 0,00 | +14′<br>+31′<br>—17′ | 0,955 | 4 и 140 | 0,00 | —28′<br>—11′<br>—17′ | 0,955 | 2 и 140 |
| $3^5/_6$ | 2 | 23 | 1 | 1 1 1 [(1)] 0 [(1)] | 0,00 | +2°36′<br>+5°13′<br>—2°37′ | 0,963 | 16 и 20 | 1,72 | —1°52′<br>+45′<br>—2°37′ | 0,958 | 14 и 120 |
| | 4 | 46 | 1 | 1 1 1 [(1)] 0 1 1 1 1 1 1 0 | 0,00 | +2°36′<br>+1°3′<br>+1°33′ | 0,957 | 16 | 0,70 | +31′<br>—1°2′<br>+1°33′ | 0,955 | 14 |
| | 8 | 92 | 1 | 1 1 1 [(1)] 1 0 1 1 1 1 0 1<br>1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 (1) | 0,35 | +31′<br>+1°3′<br>—32′ | 0,956 | 16 и 89 | 0,35 | —32′<br>0′<br>—32′ | 0,955 | 14 и 89 |
| | 10 | 115 | 1 | 1 1 1 [(1)] 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1<br>1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 | 0,00 | +1°2′<br>+12′<br>+50′ | 0,955 | 16 | 0,28 | +13′<br>—37′<br>+50′ | 0,954 | 14 |
| | 14 | 161 | 1 | 1 1 1 [(1)] 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1<br>1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 [(1)] | 0,00 | +15′<br>+28′<br>—13′ | 0,956 | 16 и 158 | 0,20 | —18′<br>—5′<br>—13′ | 0,955 | 14 и 158 |
| | 16 | 184 | 1 | 1 1 1 [(1)] 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0<br>1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1<br>1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 | 0,00 | +35′<br>+10′<br>+25′ | 0,955 | 16 | 0,00 | +5′<br>—30′<br>+25′ | 0,955 | 14 |
| $2^1/_9$ | 6 | 28 | 1 | [(1)] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 | 0,17 | +1°35′<br>+3°10′<br>—1°35′ | 0,958 | 3 | 1,48 | —48′<br>+47′<br>—1°35′ | 0,955 | 2 |
| | 12 | 76 | 1 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0<br>0 [1] 0 0 0 0 0 (0) 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 | 0,62 | —34′<br>+5′<br>—39′ | 0,956 | 55 | 1,04 | +6′<br>—11′<br>—17′ | 0,955 | 42 |
| $2^2/_9$ | 6 | 40 | 1 | [(1)] 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 | 0,00 | +3′<br>+1°8′<br>+1°52′ | 0,954 | 3 | 0,48 | +56′<br>—56′<br>+1°52′ | 0,952 | 2 |

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется. Несимметрия по величине (проценты) | Полюсно-фазная группа не расщепляется. Несимметрия по углу (электрические градусы) | Полюсно-фазная группа не расщепляется. Коэффициент распределения | Полюсно-фазная группа не расщепляется. Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Полюсно-фазная группа расщепляется. Несимметрия по величине (проценты) | Полюсно-фазная группа расщепляется. Несимметрия по углу (электрические градусы) | Полюсно-фазная группа расщепляется. Коэффициент распределения | Полюсно-фазная группа расщепляется. Катушечная сторона удаляется из паза (номер) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $2^2/_9$ | 12 | 80 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0<br>0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 | 0,00 | +31′<br>+1°2′<br>—31′ | 0,953 | 32 и 43 | 0,40 | +31′<br>+4′<br>+27′ | 0,952 | 33 и 43 |
| $2^4/_9$ | 6 | 44 | 1 | 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 | 0,30 | +1°22′<br>+2°44′<br>—1°22′ | 0,957 | 18 и 35 | 0,97 | —58′<br>+24′<br>—1°22′ | 0,955 | 2 и 35 |
| | 12 | 88 | 1 | 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0<br>1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 | 0,00 | +1°10′<br>+24′<br>+46′ | 0,955 | 18 | 0,36 | +5′<br>—41′<br>+46′ | 0,954 | 2 |
| $2^5/_9$ | 6 | 46 | 1 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 | 0,00 | —1°5′<br>—2°36′<br>+1°31′ | 0,955 | 1 | 0,70 | +31′<br>—1°<br>+1°31′ | 0,952 | 2 |
| | 12 | 92 | 1 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0<br>1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 | 0,00 | +31′<br>+1°<br>—29′ | 0,953 | 52 и 80 | 0,18 | —32′<br>—3′<br>—27′ | 0,953 | 52 и 71 |
| $2^7/_9$ | 6 | 50 | 1 | 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 | 0,20 | +1°12′<br>+2°24′<br>—1°12′ | 0,958 | 12 и 48 | 0,78 | —36′<br>+36′<br>—1°12′ | 0,954 | 19 и 48 |
| | 12 | 100 | 1 | 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0<br>1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 | 0,00 | —40′<br>+23′<br>—1°3′ | 0,955 | 73 | 0,16 | —40′<br>—27′<br>—13′ | 0,955 | 66 |
| $2^8/_9$ | 6 | 52 | 1 | 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 | 0,00 | +2°18′<br>+57′<br>+1°21′ | 0,955 | 21 | 1,85 | +20′<br>—41′<br>+1°1′ | 0,950 | 11 |
| | 12 | 104 | 1 | 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 | 0,62 | +29′<br>+1°1′<br>—32′ | 0,953 | 73 и 76 | 0,62 | +39′<br>+8′<br>+31′ | 0,952 | 60 и 73 |
| $3^1/_9$ | 6 | 56 | 1 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 | 0,35 | +1°4′<br>+2°8′<br>—1°4′ | 0,954 | 4 и 35 | 0,81 | —43′<br>+22′<br>—1°5′ | 0,952 | 21 и 35 |
| | 12 | 112 | 1 | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0<br>0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 | 0,00 | +1°0′<br>+29′<br>+31′ | 0,950 | 60 | 0,11 | +18′<br>+29′<br>—11′ | 0,950 | 108 |

| ППФ | Число полюсов | Число пазов | Число параллельных ветвей (возможное) | Группировка катушек (последовательность больших и малых полюсно-фазных групп) | Полюсно-фазная группа не расщепляется | | | | Полюсно-фазная группа расщепляется | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) | Несимметрия | | Коэффициент распределения | Катушечная сторона удаляется из паза (номер) |
| | | | | | …не (проценты) | по углу (электрические градусы) | | | по величине (проценты) | по углу (электрические градусы) | | |
| $3\frac{2}{9}$ | 6 | 58 | 1 | (1) 0 0 [0] 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 | ,00 | +2°4′<br>+52′<br>+1°12′ | 0,955 | 4 | 0,52 | +26′<br>—46′<br>+1°12′ | 0,953 | 12 |
| | 12 | 116 | 1 | 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 [0] 0 0 (1) 0 0 0<br>0 [(1)] 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 | ,00 | +28′<br>+54′<br>—26′ | 0,955 | 46 и 62 | 0,55 | +28′<br>+3′<br>+25′ | 0,954 | 38 и 62 |
| $3\frac{4}{9}$ | 6 | 62 | 1 | 1 0 1 0 1 0 [(1)] 0 0 1 0 1 0 [(1)] 0 0 1 0 | ,42 | +58<br>+1°56′<br>- 58′ | 0,957 | 25 и 49 | 0,68 | —46′<br>+12′<br>—58′ | 0,955 | 23 и 49 |
| | 12 | 124 | 1 | 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 [0] 1 0 (1) 0 0<br>1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 | ,00 | +52′<br>+20′<br>+32′ | 0,955 | 56 | 0,26 | +11′<br>—21′<br>+32′ | 0,955 | 44 |
| $3\frac{5}{9}$ | 6 | 64 | 1 | 1 1 0 (1) 0 1 [0] 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 | ,00 | +1°40′<br>+49′<br>+51′ | 0,952 | 15 | 0,50 | +19′<br>—32′<br>51′ | 0,950 | 24 |
| | 12 | 128 | 1 | 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0<br>1 0 [(1)] 1 0 1 0 1 0 1 0 1 (1) 0 1 [0] 1 0 | ,00 | +26′<br>+43′<br>—17′ | 0,952 | 72 и 111 | 0,00 | —17′<br>+0′<br>—17′ | 0,952 | 72 и 120 |
| $3\frac{7}{9}$ | 6 | 68 | 1 | 1 1 1 [(1)] 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 [(1)] 0 | ,48 | +53′<br>+1°46′<br>—53′ | 0,952 | 16 и 65 | 0,48 | —34′<br>+19′<br>—53′ | 0,950 | 14 и 65 |
| | 12 | 136 | 1 | 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0<br>1 1 1 0 1 1 1 0 [(1)] 1 1 1 0 1 1 1 0 1 | ,00 | —28′<br>+22′<br>—50′ | 0,952 | 99 | 0,00 | —28′<br>—21′<br>—7′ | 0,952 | 101 |
| $3\frac{8}{9}$ | 6 | 70 | 1 | 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 [1] 0 1 (1) | ,00 | —58′<br>+45′<br>—1°43′ | 0,953 | 67 | 1,39 | —58′<br>—22′<br>—36′ | 0,950 | 57 |
| | 12 | 140 | 1 | 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0<br>1 1 1 1 1 1 0 [(1)] [(1)] 1 1 1 1 1 1 0 1 1 | ,00 | +25′<br>+46′<br>-21′ | 0,956 | 98 и 102 | 0,68 | +25′<br>+8′<br>+17′ | 0,954 | 98 и 104 |

* — первый угол между А и С, второй—между А и В, третий—между В и С.
○ — выключаемая катушка находится в начале или конце полюсно-фазной группы.
□ — выключаемая катушка находится внутри полюсно-фазной группы (группа ра… епляется).

Таблица 5-7

Несимметрия 3-фазных обмоток с числом пазов, кратным 3

| Числитель ППФ, написанного в форме $N/d$, где $N$ и $d$ не имеют общего делителя | Разность между э. д. с. фаз $C$ и $A$ в процентах э. д. с. фазы $A$ (э. д. с. фазы $B$ равна э. д. с. фазы $A$) | Отклонение по углу (в электрических градусах) между э. д. с. фазы $A$ и э. д. с. фазы: | |
|---|---|---|---|
| | | $C$ | $B$ |
| 4 | —2,08 | —3°18′ | —6°36′ |
| 5 | —3,09 | —2°17′ | —4°34′ |
| 7 | —0,86 | —1°05′ | —2°10′ |
| 8 | —1,06 | —52′ | —1°44′ |
| 10 | —0,45 | —32′ | —1°04′ |
| 11 | —0,58 | —28′ | —56′ |
| 13 | —0,28 | —18′ | —36′ |
| 17 | —0,20 | —12′ | —24′ |
| 19 | —0,14 | —9′ | —18′ |
| 23 | —0,10 | —6′ | —12′ |

ГЛАВА ШЕСТАЯ

# ТРЕХФАЗНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ С ЦЕЛЫМ ЧИСЛОМ И ЦЕЛЫМ ЧИСЛОМ $+1/2$ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

**6-1. Общие характерные признаки волновой обмотки. Задний шаг; передний шаг; шаг обмотки; поворотное соединение.** В отличие от петлевой обмотки, имеющей катушки с лобовыми частями, отогнутыми на обеих сторонах к их центральным линиям (рис. 1-13), волновая обмотка имеет катушки с лобовыми частями, отогнутыми к центральной линии только на одной стороне (рис. 1-14). На другой стороне лобовые части катушек всегда отогнуты от их центральной линии. Некоторое число таких катушек, а именно столько, сколько имеется пар полюсов, соединяется последовательно. Они обходят вокруг ротора (или статора) и возвращаются к точке, лежащей вблизи начальной точки. Такой обход назовем рядом катушек. Один ряд катушек для 6-полюсной машины показан на рис. 6-1.

Каждая фаза содержит несколько рядов катушек. Позднее будет показано, что число рядов катушек зависит от числа пазов на полюс и фазу.

Волновая обмотка является 2-слойной обмоткой, так же как петлевая обмотка. Следовательно, проводник $a$ на рис. 6-1 — верхний проводник, проводник $b$ — нижний проводник, $c$ — снова верхний проводник и т. д. Расстояние от $a$ до $b$ на рис. 6-1 определяет ширину всех катушек обмотки. Это — задний шаг обмотки. Его можно определить 2 способами. Если $a$ находится в пазу 1, а $b$ в пазу *10*, то задний шаг определяется выражением из 1 в 10 или расстоянием, равным 9 пазовым делениям $(10-1=9)$. Расстояние от $b$ до $c$ между проводниками 2

следующих одна за другой катушек — **передний шаг**; он определяется аналогично заднему шагу. Расстояние от *a* до *c*, т. е. сумма заднего и переднего шагов,— **шаг обмотки**. Задний шаг — расстояние между верхним и нижним проводниками (или наоборот) одной и той же катушки. Шаг обмотки — расстояние между следующими один за другим верхними или нижними проводниками.

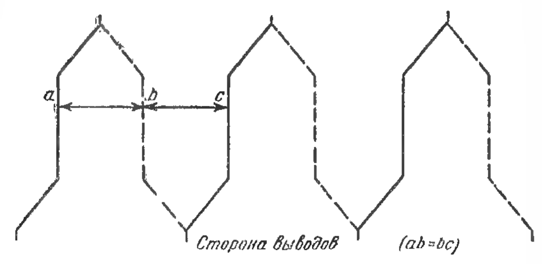



Рис. 6-1. Один ряд катушек 6-полюсной обмотки.

Волновая обмотка применяется главным образом для роторов асинхронных двигателей и является обычно трехфазной. Поэтому в данной книге будут рассматриваться только трехфазные обмотки. В этой главе ограничимся рассмотрением обмоток, для которых ППФ равно целому числу или целому числу $+ ^1/_2$. Другие волновые обмотки с дробным ППФ, симметричные и несимметричные, будут рассмотрены в гл. 7 и 8.

Если ППФ равно целому числу, то *задний шаг = ширине катушки = (3 × ППФ); передний шаг = заднему шагу.*
Если ППФ равно целому числу $+ ^1/_2$, то *задний шаг = ширине катушки = (3 × ППФ) + $\frac{1}{2}$; передний шаг = заднему шагу — 1.* (6-1)

Например, трехфазная обмотка с ППФ = 3 имеет задний шаг и передний шаг, равные 9 пазовым делениям; трехфазная обмотка с ППФ $= 3^1/_2$ имеет задний шаг, равный $(3 \times 3^1/_2) + {}^1/_2 = 11$ пазовым делениям, и передний шаг, равный $11 - 1 = 10$ пазовым делениям. Шаг обмотки равен $9 + 9 = 18$ пазовым делениям для ППФ = 3 и $11 + 10 = 21$ пазовому делению для ППФ $= 3^1/_2$. Отметим, что **шаг обмотки равен числу пазов на 2 полюса.**



**Задний шаг, как и передний шаг, не зависит от числа полюсов.** Шаги зависят исключительно от значения ППФ. Например, 4-полюсная и 6-полюсная обмотки с ППФ = 3 имеют одни и те же задний и передний шаги. Это позволяет **классифицировать** волновые обмотки **по числу пазов на полюс и фазу** точно так же, как это было сделано в отношении петлевых обмоток.

Обмотка **каждой фазы состоит из 2 частей**, соединенных между собой. Одна часть наматывается по стрелке часов, другая часть — против стрелки часов, или наоборот. Так как обе части наматываются в противоположных направлениях, то соединение между ними называется **поворотным соединением**. В обмотке с целым ППФ каждая фаза состоит из стольких рядов катушек (рис. 6-1), сколько приходится пазов на полюс и фазу. В обмотке с ППФ, равным целому числу $+ ^1/_2$, одна часть состоит из (ППФ $+ ^1/_2$) рядов катушек, другая часть — из (ППФ $- ^1/_2$) рядов катушек.

Так как все катушки одинаковы по ширине, то **задний шаг также одинаков для всех катушек.** По-другому обстоит дело в отношении переднего шага. Всегда имеется известное число **ненормальных передних шагов**, которые короче или длиннее нормального. Оно зависит от того, каким образом ряды катушек каждой части обмотки соединяются между собой: выбирается ли при этом ненормальный передний шаг короче или длиннее, чем нормальный передний шаг. Все это подробно объясняется в следующем параграфе.

**6-2. Различные способы выполнения обмоток. Обмотки с укороченными и удлиненными переходами.** Катушки, применяемые для волновых обмоток, могут быть **левыми** (рис. 6-2) или **правыми** (рис. 6-3). В обоих случаях верхние или нижние проводники могут быть выбраны как начала 3 фаз; в обоих случаях первая часть каждой фазы может быть намотана по движению стрелки часов, а вторая часть — против движения стрелки часов, или наоборот. Это дает известное различие в выполнении обмотки. Другие различия получаются из-за того, как соединяются между собой ряды катушек каждой части. Последнее можно хорошо видеть на рис. 6-4, на котором показаны 3 ряда катушек одной части фазы *A* 6-полюсной машины при ППФ = 3. Имеем следующие группы пазов, относящихся к фазе *A*: *1—2—3, 10—11—12, 19—20—21, 28—29—30,*

*37—38—39* и *46—47—48*. Между следующими друг за другом группами пазов остается по 6 пазов для фаз $C$ и $B$ (по 3 для каждой фазы). Так как ППФ = 3, то задний шаг и передний шаг (ППФ × число фаз) равны 3 × 3 = 9 и шаг обмотки (задний шаг + передний шаг) равен 18, т. е. если

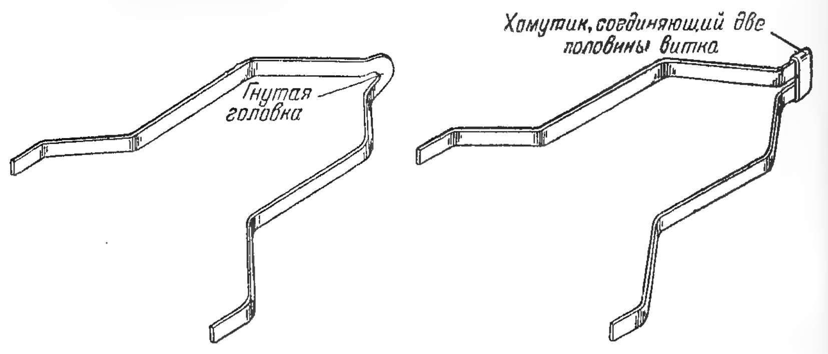



Рис. 6-2а. Левая катушка (полный виток) для волновой обмотки.

Рис. 6-2б. Левая катушка (из двух половин витка) для волновой обмотки.

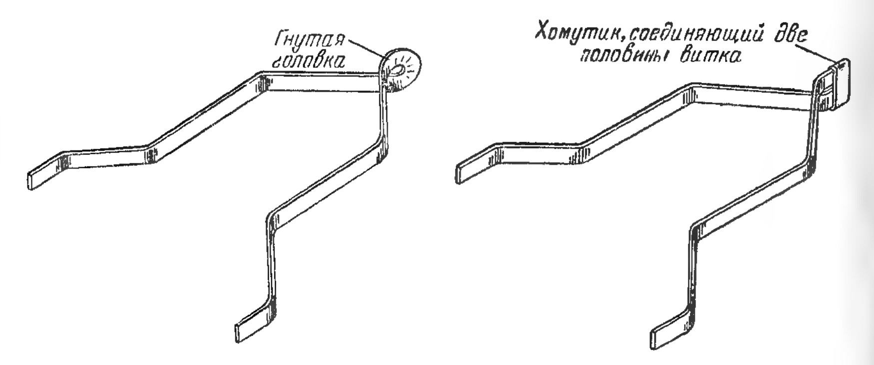



Рис. 6-3а. Правая катушка (полный виток) для волновой обмотки.

Рис. 6-3б. Правая катушка (из двух половин витка) для волновой обмотки.

верхний проводник катушки лежит в пазу *1*, то ее нижний проводник лежит в пазу (1 + 9) = 10, а ближайшие следующие верхние проводники ряда, к которому принадлежит рассматриваемая катушка, лежат в пазах (1 + 18) = = 19 и (19 + 18) = 37.



Пусть началом фазы $A$ будет верхний проводник *1* ряда катушек $b_1$—$e_1$ (рис. 6-4). Если конец этого ряда $e_1$ соединить с началом ближайшего ряда $b_2$, который лежит в пазу *2*, т. е. впереди начала первого ряда, то обмотка будет с удлиненными переходами. С другой стороны, если конец ряда катушек соединить с началом другого ряда катушек, который лежит сзади начала первого ряда, то обмотка будет с укороченными переходами. Если, например, на рис. 6-4 за начало фазы принять проводник *3* и конец ряда $b_3$—$e_3$ соединить с $b_2$, т. е. с проводником паза *2*, то обмотка будет с укороченными переходами.

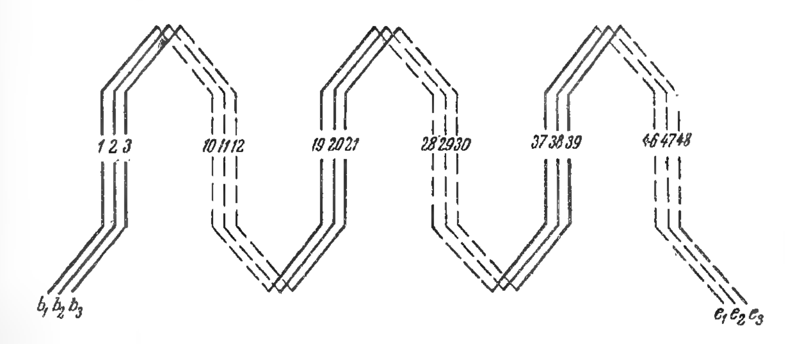



Рис. 6-4. Три ряда катушек фазы $A$ 6-полюсной обмотки с ППФ=3.

В общем случае обмотка будет с удлиненными переходами, если конец ряда катушек соединяется с началом ряда катушек, лежащим по направлению намотки впереди начала первого ряда; обмотка будет с укороченными переходами, если конец ряда катушек соединяется с началом ряда катушек, лежащим по направлению намотки сзади начала первого ряда.

Обмотка с удлиненными переходами имеет некоторое число передних шагов, которые длиннее, чем нормальный передний шаг; обмотка с укороченными переходами имеет некоторое число передних шагов, которые короче, чем нормальный передний шаг.

Из различных возможных способов соединения рядов катушек каждой части и 2 частей каждой фазы будем рассматривать только 2 наиболее часто применяемых способа (только две схемы соединений): соединения с уко-

роченными переходами в обеих частях и соединения с удлиненными переходами в одной части и с укороченными в другой части.

В данной главе, как и в предыдущих, пазы нумеруются по движению стрелки часов. Начала 2 частей обмотки обозначаются нечетными индексами 1 и 3, а концы — четными индексами 2 и 4, например начала частей фазы $A$ будут $A_1$ и $A_3$, а концы $A_2$ и $A_4$.

## А. ОБМОТКИ С ППФ, РАВНЫМ ЦЕЛОМУ ЧИСЛУ

**а) Соединения с укороченными переходами.** На рис. 6-5 показаны соединения с укороченными переходами фазы $A$ для 4-полюсной обмотки с ППФ=3. Полное число пазов равно (ППФ × число фаз × число полюсов), т. е. 3 × 3 ×

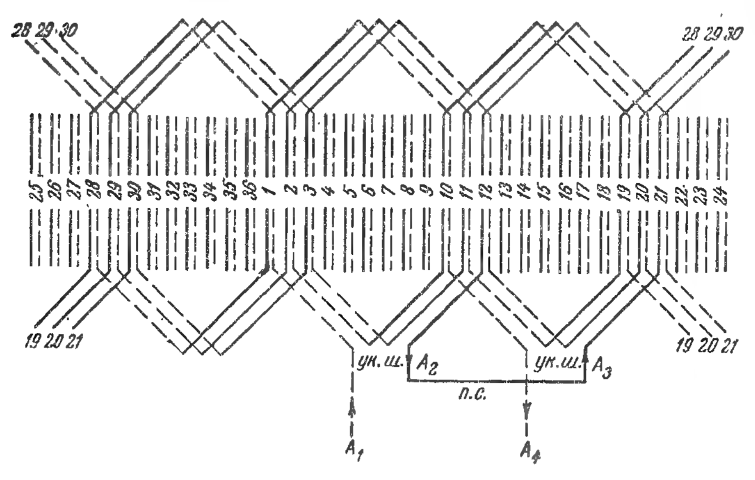



Рис. 6-5. Соединения с укороченными переходами (ук. ш.) фазы $A$ 4-полюсной обмотки с ППФ=3.

×4=36. Пазы, принадлежащие фазе $A$: *1—2—3*, *10—11—12*, *19—20—21* и *28—29—30* (рис. 6-5 и табл. 6-4). На паз приходятся только 2 проводника, по одному в каждом слое. Катушки — левые (см. рис. 6-2). Задний шаг и передний шаг, соответствующие ППФ=3, равны 3×3=9 пазовым делениям [уравнение (6-1)]. Это — ширина всех катушек на стороне, противоположной выводам.



Например, верхний проводник *19* соединяется с нижним проводником 19+9=*28*, последний проводник соединяется с верхним 28+9=37—36=*1* и т. д. Начало $A_1$ фазы — нижний проводник в пазу *1*; первая часть фазы получается при обходе проводников против движения стрелки часов. Так как ППФ = 3, то имеем 3 ряда катушек в каждой части обмотки; каждый ряд состоит из 2 (число пар полюсов) катушек. Первая часть имеет следующие 3 ряда катушек:

1) нижний *1* → верхний *28* → нижний *19* → верхний *10*;
2) нижний *2* → верхний *29* → нижний *20* → верхний *11*;
3) нижний *3* → верхний *30* → нижний *21* → верхний *12*.

Конец первого ряда катушек (верхний проводник *10*) соединяется с нижним проводником в пазу *2*. Так как первая часть наматывается против движения стрелки часов, то паз *2* находится по направлению намотки сзади паза *1* (начала первого ряда); первая часть имеет соединения с укороченными переходами. Это соответствует укороченным передним шагам по сравнению с нормальным между верхним проводником *10* и нижним проводником *2*, между верхним проводником *11* и нижним проводником *3*. В общем случае число укороченных передних шагов на часть обмотки равно (ППФ—1); в данном случае оно равно 3—1 = 2.

Конец $A_2$ первой части — верхний проводник *12*; первая часть обмотки состоит из нижних проводников пазов *1—2—3*, верхних проводников пазов *28—29—30*, нижних проводников пазов *19—20—21* и верхних проводников пазов *10—11—12*. Оставшиеся проводники, т. е. верхние проводники пазов *1—2—3*, нижние проводники пазов *28—29—30*, верхние проводники пазов *19—20—21* и нижние проводники пазов *10—11—12*, образуют вторую часть фазы $A$. Эта часть начинается в верхнем проводнике паза *21* и наматывается по движению стрелки часов. Первый ряд катушек состоит из проводников: верхний *21* → нижний *30* → верхний *3* → нижний *12*; конец этого ряда соединен с верхним проводником паза *20*, который лежит по направлению намотки сзади начала первого ряда катушек. Таким образом, вторая часть также соединена укороченными переходами и имеет 2 укороченных передних шага, точно так же как первая часть. Полное число укороченных передних шагов на фазу равно 2×(ППФ—1). Конец первой части $A_2$ соединяется пово-

ротным соединением (п. с.) с началом второй части $A_3$; таким образом, все катушки фазы $A$ оказываются соединенными последовательно. $A_1$ и $A_4$ — соответственно начало и конец фазы $A$. $A_1$ обычно присоединяется к контактному кольцу или к сети; $A_4$ обычно присоединяется к нулевой точке звезды.

**б) Соединения с удлиненными переходами в одной части и с укороченными переходами в другой части.** Эти соединения показаны на рис. 6-6 для той же самой обмотки, для которой на рис. 6-5 показаны соединения с укороченными переходами. На рис. 6-6 имеем то же число пазов и те же самые пазы для фазы $A$, как на рис. 6-5. Следовательно, задний и передний шаги и шаг обмотки остались также теми же самыми. Катушки — опять левые.

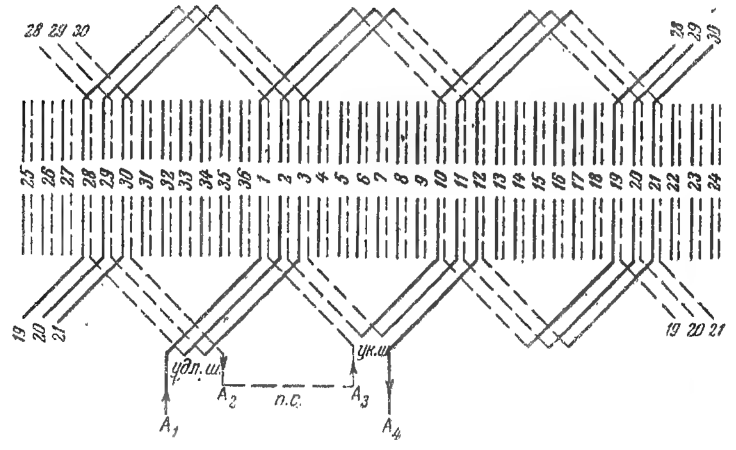



Рис. 6-6. Соединения с удлиненными переходами (удл. ш.) в одной части и укороченными переходами (ук. ш.) в другой части фазы $A$ 4-полюсной обмотки с ППФ=3.

В отличие от соединений с укороченными переходами, рассмотренных в п. «а», в данном случае первая часть начинается с в е р х н е г о проводника паза *1* и наматывается по движению стрелки часов. Первый ряд катушек состоит из проводников: верхний *1* → нижний *10* → верхний *19* → нижний *28*. Его конец (нижний проводник *28*) соединяется с верхним проводником паза *2*, лежащим по направлению намотки в п е р е д и начала предшествующего ряда катушек, т. е. первая часть выполнена с удлиненными



переходами. Эти переходы или удлиненные (по сравнению с нормальным) передние шаги получаются между нижним проводником *28* и верхним проводником *2*, между нижним проводником *29* и верхним проводником *3*. Ч и с л о у д л и н е н н ы х ш а г о в в общем случае равно (ППФ—1); для рассматриваемой обмотки оно равно 3—1=2. Конец первой части — нижний проводник *30*. Она состоит из верхних проводников пазов *1—2—3*, нижних проводников пазов *10—11—12*, верхних проводников пазов *19—20—21* и нижних проводников пазов *28—29—30*. Оставшиеся проводники, т. е. нижние проводники пазов *1—2—3*, верхние проводники пазов *10—11—12*, нижние проводники пазов *19—20—21* и верхние проводники пазов *28—29—30*, образуют вторую часть фазы $A$. Эта часть начинается с нижнего проводника паза *1* и наматывается против движения стрелки часов. Первый ряд катушек состоит из проводников: нижний *1* → верхний *28* → нижний *19* → верхний *10*. Конец этого ряда (верхний проводник *10*) соединяется с нижним проводником паза *2*, лежащим по направлению намотки сзади начала первого ряда. Таким образом, вторая часть представляет собой соединения с укороченными переходами, тогда как первая часть — соединения с удлиненными переходами. Во второй части имеем (ППФ—1)=2 у к о р о ч е н н ы х п е р е д н и х ш а г а. Конец первой части $A_2$ соединяется поворотным соединением (п. с.) с началом второй части $A_3$; при этом все катушки фазы $A$ оказываются соединенными последовательно. $A_1$ и $A_4$ — соответственно начало и конец фазы $A$.

Сравнивая схемы соединений на рис. 6-5 и 6-6, видим, что соединения с укороченными переходами имеют только нормальные и укороченные передние шаги, в то время как соединения с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части имеют нормальные, удлиненные и укороченные передние шаги. Преимущество первых соединений в том, что они требуют меньшее число ненормальных шагов, чем вторые соединения. Преимущество вторых соединений в том, что здесь не получается пересечений выводов и поворотных соединений.

**в) Соединения с удлиненными переходами.** На рис. 6-7 показана для сравнения та же самая обмотка с ППФ=3, что и на рис. 6-5 и 6-6, но с двумя частями фазы, имеющими удлиненные переходы. Это дает удлиненные передние шаги для обеих частей. Полное число удлиненных передних

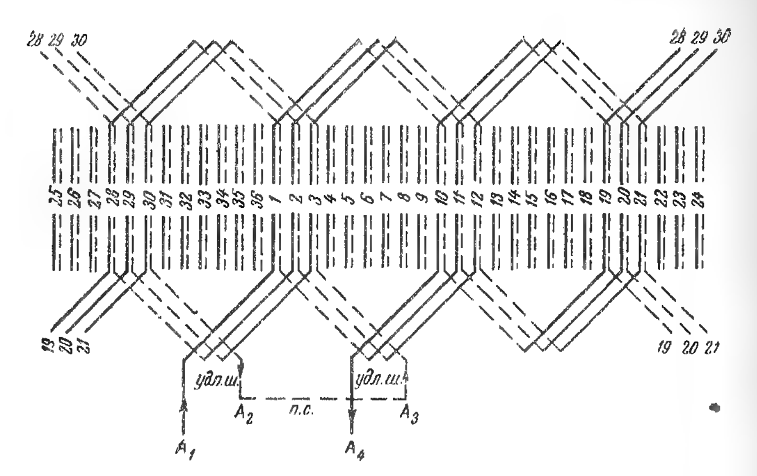



Рис. 6-7. Соединения с удлиненными переходами (удл. ш.) фазы *A* 4-полюсной обмотки с ППФ=3.

шагов для каждой фазы равно 2×(ППФ—1). Этот тип обмотки применяется редко.

**г) Соединения с укороченными переходами при использовании правых катушек.** На рис. 6-8 показана такая же обмотка с укороченными переходами для обеих частей, как и на рис. 6-5, но с правыми катушками вместо левых.

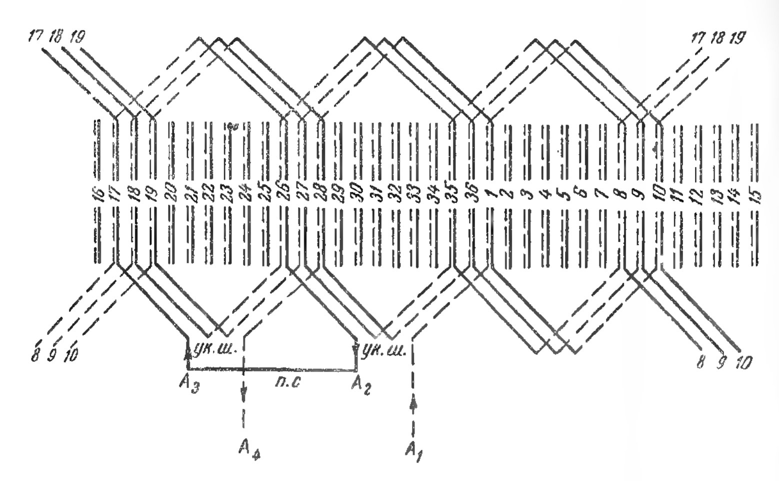



Рис. 6-8. Соединения с укороченными переходами (ук. ш.) фазы *A* 4-полюсной обмотки с ППФ=3.



Рис. 6-8 будет таким же, что и рис. 6-5, если на него смотреть с противоположной стороны страницы.

Как ранее отмечалось, таблицы и рабочие схемы, приведенные в последующем, даны для соединений с укороченными переходами и для соединений с удлиненными переходами в одной части и с укороченными переходами в другой части, показанными соответственно на рис. 6-5 и 6-6. Далее, имеются в виду левые катушки и нумерация пазов по движению стрелки часов. При этом для обмоток с ППФ, равным целому числу, устанавливаются следующие положения:

| Соединения с укороченными переходами | Соединения с удлиненными переходами в одной части и с укороченными переходами в другой части |
|---|---|
| Начало фазы *A* — нижний проводник паза *1* | Начало фазы *A* — верхний проводник паза *1* |
| Первая часть фазы — с укороченными переходами и наматывается против движения стрелки часов | Первая часть фазы — с удлиненными переходами и наматывается по движению стрелки часов |
| Вторая часть фазы — с укороченными переходами и наматывается по движению стрелки часов | Вторая часть фазы — с укороченными переходами и наматывается против движения стрелки часов |
| Поворотное соединение от части *1* к части *2* направлено по движению стрелки часов и соединяет 2 верхних проводника | Поворотное соединение от части *1* к части *2* направлено по движению стрелки часов и соединяет 2 нижних проводника |
| Начало и конец фазы — нижние проводники (см. рис. 6-5) | Начало и конец фазы — верхние проводники (см. рис. 6-6) |

## Б. ОБМОТКИ С ППФ, РАВНЫМ ЦЕЛОМУ ЧИСЛУ+$^1/_2$

**а) Соединения с укороченными переходами.** Рассмотрим как пример 4-полюсную обмотку с ППФ=$3^1/_2$ (рис. 6-9). Полное число пазов равно (ППФ×число фаз×число полюсов)=$3^1/_2$×3×4=42; при этом имеем 42 верхних и 42 нижних проводника. Так как ППФ — дробное число, а именно $3^1/_2$, то одна часть каждой фазы будет иметь 4 ряда катушек, а другая часть 3 ряда катушек. Задний шаг [см. уравнение (6-1)] равен (3×ППФ)+$^1/_2$=(3×$3^1/_2$)+ +$^1/_2$=11 и передний шаг равен (заднему шагу — 1)=(11 — — 1)=10.

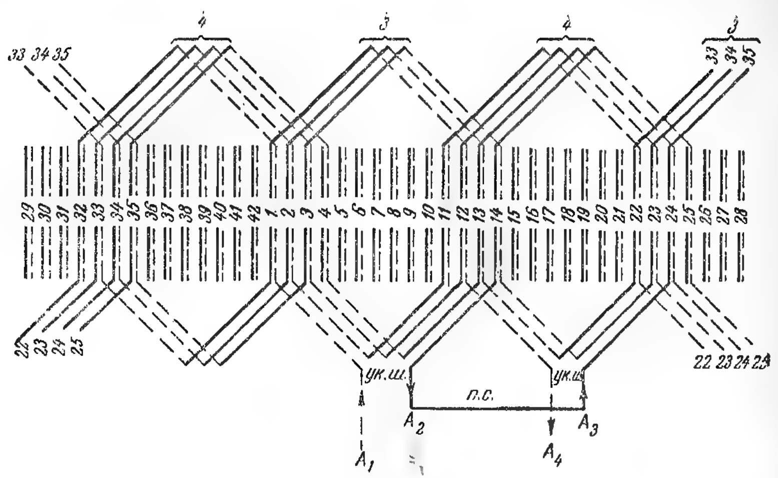



Рис. 6-9. Соединения с укороченными переходами (ук. ш.) фазы $A$ 4-полюсной обмотки с ППФ=$3^1/_2$.

Отнесем нижние (или верхние) проводники к 3 фазам; при этом группы проводников, состоящие из (ППФ$+^1/_2$) $=4$ и из (ППФ$-^1/_2$) $=3$ проводников, должны следовать попеременно. Для рассматриваемого примера нижние проводники могут быть распределены следующим образом:

| | | |
|---|---|---|
| нижние проводники | *1—2—3—4* | *5—6—7* |
| фазы | *A* | *C* |
| нижние проводники | *8—9—10—11* | *12—13—14* |
| фазы | *B* | *A* |
| нижние проводники | *15—16—17—18* | *19—20—21* |
| фазы | *C* | *B* |
| нижние проводники | *22—23—24—25* | *26—27—28* |
| фазы | *A* | *C* |
| нижние проводники | *29—30—31—32* | *33—34—35* |
| фазы | *B* | *A* |
| нижние проводники | *36—37—38—39* | *40—41—42* |
| фазы | *C* | *B* |

т. е. фазе $A$ принадлежат группы нижних проводников

*1—2—3—4   12—13—14   22—23—24—25*

*33—34—35.*



Когда установлено распределение нижних проводников, то тем самым устанавливается и распределение верхних проводников, так как на стороне, противоположной выводам, расстояние между нижним и верхним проводниками определяется задним шагом, который равен в данном случае 11 пазовым делениям. Таким образом, при левых катушках нижний проводник *1* соединяется с верхним проводником $(1+42)-11=32$; нижний проводник *2* соединяется с верхним проводником $(2+42)-11=33$ и т. д.; получаются следующие верхние проводники, принадлежащие фазе $A$:

*1—2—3,   11—12—13—14,*

*22—23—24* и *32—33—34—35.*

На рис. 6-9 показаны соединения с укороченными переходами для фазы $A$ рассматриваемой 4-полюсной обмотки с ППФ=$3^1/_2$. Эти соединения соответствуют соединениям на рис. 6-5, за исключением того, что здесь обе части фазы не имеют одинаковых чисел рядов катушек. Первая часть, намотанная против движения стрелки часов, имеет (ППФ $+ ^1/_2$) $=3^1/_2+^1/_2=4$ ряда катушек, в то время как вторая часть, намотанная по движению стрелки часов, имеет (ППФ $- ^1/_2$) $=3^1/_2-^1/_2=3$ ряда катушек.

Первая часть начинается, как и на рис. 6-5, с нижнего проводника паза *1*; ее первый ряд катушек состоит из 2 (число пар полюсов) катушек, т. е. включает в себя проводники:

нижний *1* → верхний *32* → нижний *22* → верхний *11*. Последний проводник соединяется с нижним проводником *2*, лежащим по направлению намотки сзади начала первого ряда катушек. Обмотка, следовательно, имеет укороченные переходы при 3 укороченных передних шагах для этой части фазы. Вторая часть начинается с верхнего проводника паза *24* и состоит из 3 рядов катушек. Она также имеет укороченные переходы при 2 укороченных передних шагах.

Число укороченных передних шагов в общем случае равно числу рядов катушек минус 1, т. е. для одной части равно (ППФ$+^1/_2$)$-1$, или ППФ$-^1/_2$, а для другой части (ППФ$-^1/_2$)$-1$, или ППФ$-1^1/_2$.

Как на рис. 6-5, обе части соединяются поворотным соединением (п. с.); при этом все катушки фазы оказываются соединенными последовательно.

**б) Соединения с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части.** Рис. 6-10 показывает эти соединения для рассмотренной в предыдущем обмотки с ППФ=3½. Они соответствуют соединениям на рис. 6-6, за исключением того, что здесь обе части фазы не имеют одинаковых чисел рядов катушек. Распределение проводников между фазами—то же самое, что и на рис. 6-9.

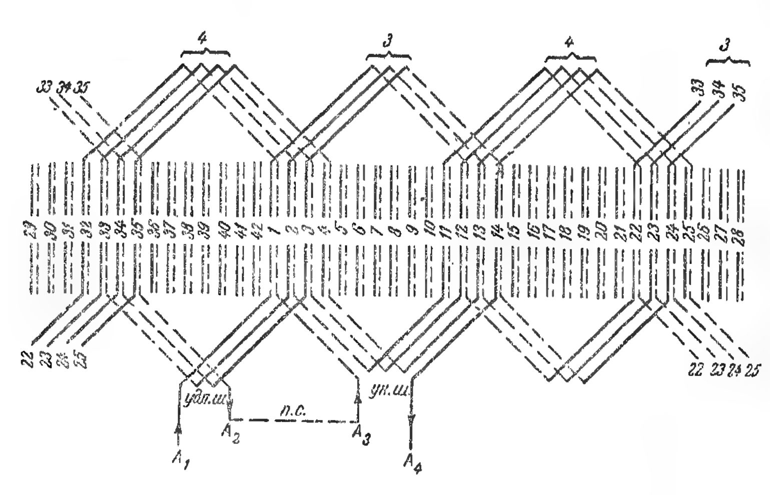



Рис. 6-10. Соединения с удлиненными переходами (удл. ш.) в одной части и укороченными переходами (ук. ш.) в другой части фазы $A$ 4-полюсной обмотки с ППФ=3½.

Как на рис. 6-6, первая часть фазы имеет удлиненные переходы, а вторая — укороченные. В отличие от рис. 6-9 первая часть имеет (ППФ — ½) = 3½—½ = 3 ряда катушек, а вторая часть имеет (ППФ + + ½) = 3½ + ½ = 4 ряда катушек. Следовательно, первая часть с удлиненными переходами имеет 2 (равно числу рядов катушек минус 1) удлиненных передних шага, а вторая часть с укороченными переходами имеет 3=4—1 укороченных передних шага. Обе части соединены последовательно посредством поворотного соединения п. с.

Суммируя, устанавливаем следующие положения для обмотки с ППФ = (целому числу + ½):



| Соединения с укороченными переходами | Соединения с удлиненными переходами в одной части и с укороченными переходами в другой части |
|---|---|
| Начало фазы $A$ — нижний проводник паза 1 | Начало фазы $A$ — верхний проводник паза 1 |
| Первая часть фазы — с укороченными переходами, наматывается против движения стрелки часов и состоит из (ППФ+½) рядов катушек | Первая часть фазы — с удлиненными переходами, наматывается по движению стрелки часов и состоит из (ППФ — — ½) рядов катушек |
| Вторая часть фазы — с укороченными переходами, наматывается по движению стрелки часов и состоит из (ППФ — — ½) рядов катушек | Вторая часть фазы — с укороченными переходами, наматывается против движения стрелки часов и состоит из (ППФ+½) рядов катушек |
| Поворотное соединение от части 1 к части 2 направлено по движению стрелки часов и соединяет 2 верхних проводника | Поворотное соединение от части 1 к части 2 направлено по движению стрелки часов и соединяет 2 нижних проводника |
| Начало и конец фазы — нижние проводники (см. рис. 6-9) | Начало и конец фазы — верхние проводники (см. рис. 6-10) |

**6-3. Таблицы соединений, таблицы распределения проводников, рабочие схемы и как ими пользоваться.** Данные, необходимые для выполнения обмотки при заданных ППФ и числе полюсов, следующие:

1. Задний шаг.
2. Передний шаг.
3. Точное положение выводов.
4. Положение концов поворотного соединения.
5. Начало и конец ряда катушек.
6. Число укороченных и удлиненных передних шагов.
7. Число нормальных передних шагов.
8. Последовательность различных частей.

Таблица соединений содержит все необходимые данные для выполнения обмотки. Приведены 24 таблицы соединений (6-1—6-24): 12 для соединений с укороченными переходами и 12 для соединений с удлиненными переходами в одной части и с укороченными переходами в другой части. В обоих случаях таблицы составлены для

| | |
|---|---|
| ППФ = 1½, 2, 2½, 3 | для 4 — 24 полюсов; |
| ППФ = 3½ | для 4 — 18 полюсов; |
| ППФ = 4 | для 4 — 14 полюсов; |
| ППФ = 4½ | для 4 — 12 полюсов; |
| ППФ = 5, 5½ | для 4 — 10 полюсов; |
| ППФ = 6, 7, 8 | для 4 — 8 полюсов. |

Следует отметить, что 4-полюсные роторные обмотки часто выполняются в виде петлевых обмоток вместо волновых.

Таблицы распределения проводников 6-25—6-41 приведены для того, чтобы показать распределение проводников между 3 фазами; они могут быть использованы для проверки таблиц соединений и разбивки обмотки на параллельные ветви (см. § 6-9 и 6-10). Таблицы распределения проводников также помогут обмотчику изменить промежутки между началами фаз, если это необходимо (см. § 6-4).

Рабочие схемы представляют собой «скелетные» схемы, но показывают все необходимые соединения для заданных ППФ и числа полюсов.

Для соединений с укороченными переходами приведены следующие рабочие схемы:

| Числа полюсов | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ППФ | № рисунков | | | | | | | | | |
| 2 | 6-17 | 6-25 | 6-32 | 6-38 | 6-43 | 6-48 | 6-52 | 6-56 | 6-59 | 6-62 |
| $2^{1}/_{2}$ | 6-18 | 6-26 | 6-33 | 6-39 | 6-44 | 6-49 | 6-53 | 6-57 | 6-60 | 6-63 |
| 3 | 6-19 | 6-27 | 6-34 | 6-40 | 6-45 | 6-50 | 6-54 | 6-58 | 6-61 | 6-64 |
| $3^{1}/_{2}$ | 6-20 | 6-28 | 6-35 | 6-41 | 6-46 | 6-51 | 6-55 | | | |
| 4 | 6-21 | 6-29 | 6-36 | 6-42 | 6-47 | | | | | |
| $4^{1}/_{2}$ | 6-22 | 6-30 | 6-37 | | | | | | | |
| 5 | 6-23 | 6-31 | | | | | | | | |
| 6 | 6-24 | | | | | | | | | |

Для соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части приведены следующие рабочие схемы:



| Числа полюсов | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ППФ | № рисунков | | | | | | | | | |
| 2 | 6-65 | 6-73 | 6-80 | 6-86 | 6-91 | 6-96 | 6-100 | 6-104 | 6-107 | 6-110 |
| $2^{1}/_{2}$ | 6-66 | 6-74 | 6-81 | 6-87 | 6-92 | 6-97 | 6-101 | 6-105 | 6-108 | 6-111 |
| 3 | 6-67 | 6-75 | 6-82 | 6-88 | 6-93 | 6-98 | 6-102 | 6-106 | 6-109 | 6-112 |
| $3^{1}/_{2}$ | 6-68 | 6-76 | 6-83 | 6-89 | 6-94 | 6-99 | 6-103 | | | |
| 4 | 6-69 | 6-77 | 6-84 | 6-90 | 6-95 | | | | | |
| $4^{1}/_{2}$ | 6-70 | 6-78 | 6-85 | | | | | | | |
| 5 | 6-71 | 6-79 | | | | | | | | |
| 6 | 6-72 | | | | | | | | | |

Указанные рабочие схемы приведены в конце главы. Развертка рабочей схемы в полную схему показана и пояснена на примере.

На рис. 6-11 показана полная схема волновой обмотки с укороченными переходами для 72 пазов, 8 полюсов ППФ=3 и 2 проводников на паз. Короткие радиальные линии с номерами 1—72 соответствуют пазовым частям обмотки. Над ними, вне окружности, представлены части обмотки на стороне, противоположной выводам, а внутри окружности представлены части обмотки на стороне выводов и показаны положения начал и концов обмотки, поворотных соединений, а также числа соединений катушек между началами, концами и поворотными соединениями.

Число соединений между верхними и нижними проводниками на стороне, противоположной выводам, равно числу катушек, т. е. 72 для данного примера. Однако число соединений между верхними и нижними проводниками на стороне выводов меньше, чем число катушек, так как каждая фаза имеет 4 свободных конца ($A_1$, $A_2$, $A_3$, $A_4$; $B_1$, $B_2$,...). Полное число соединений между верхними и нижними проводниками на стороне выводов равно числу катушек минус 6.

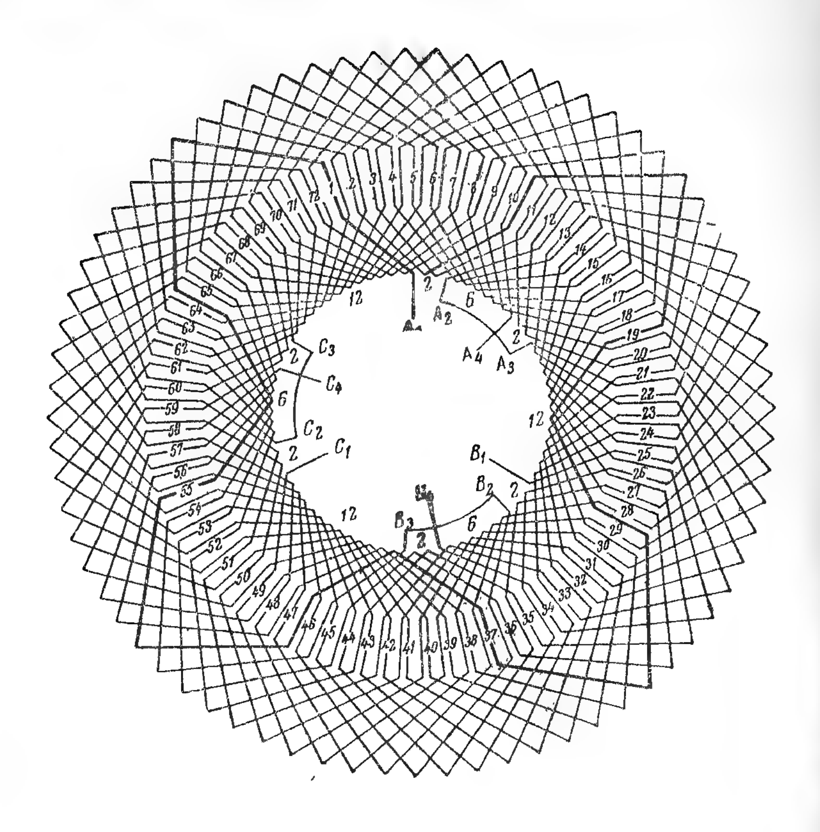



Рис. 6-11. Полная схема обмотки с укороченными переходами (ук. ш.) для 72 пазов, 8 полюсов и ППФ=3.

Так как ППФ=3, то задний шаг, как и передний, равен 9 пазовым делениям. Таким образом, нижний проводник *1* соединяется с верхним проводником *64*, затем с нижним проводником *55* и т. д. до конца первого ряда катушек— верхнего проводника *10*, который соединяется с началом следующего ряда катушек — с нижним проводником *2*. Первый ряд катушек показан на рис. 6-11 более жирной линией.

Рис. 6-12 представляет собой упрощенную схему по сравнению с показанной на рис. 6-11. Единственный ряд катушек, показанный на рис. 6-11 более жирной линией, показан снова на рис. 6-12 в том же самом относительном положении. Все другие ряды катушек исключены, но сое-



динения между верхними и нижними проводниками на стороне выводов показаны короткими радиальными линиями между 2 концентрическими окружностями. Та часть схемы, которая соответствует внутреннему кругу на рис. 6-11, показывает расположение выводов и поворотных соединений и указывает числа соединений между верхними и нижними проводниками. Зачерненные квадратики (рис. 6-12) у внешней окружности обозначают верхние проводники, такие же квадратики у внутренней окружности—нижние проводники. Соединяющие их короткие радиальные линии представляют собой хомутики или соединения между верхними и нижними проводниками. Например, между $A_1$ и $A_2$ имеются 2 хомутика (соединения), соединяющие 2 верхних и 2 нижних проводника.

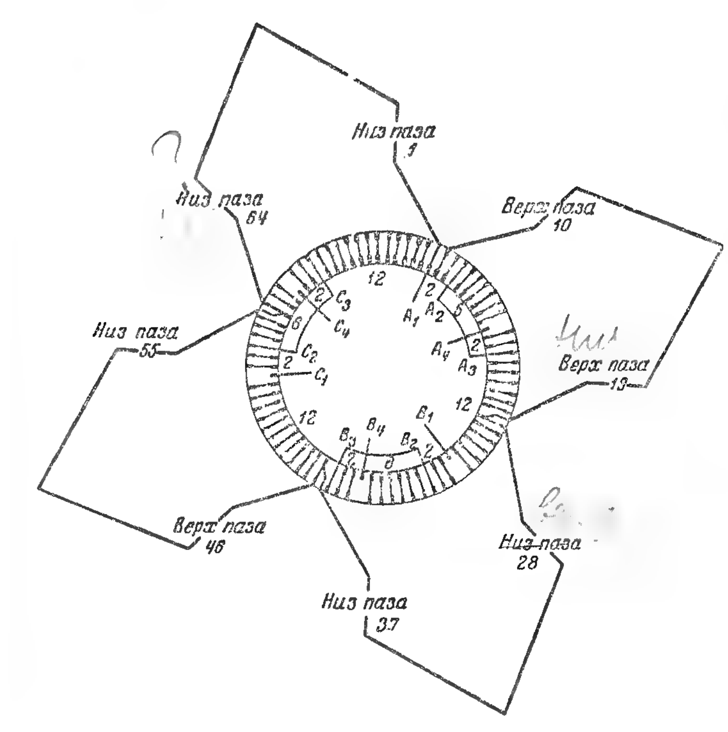



Рис. 6-12. Упрощенная схема обмотки с укороченными переходами (ук. ш.), показанной на рис. 6-11.

Дальнейшее упрощение схемы на рис. 6-12 приведено на рис. 6-13. Здесь показаны только начало и конец того же ряда катушек фазы $A$. Радиальные линии, обозначающие хомутики, даны только в пределах выводов фазы $A$; числа во всех других частях схемы показывают, сколько катушек или хомутиков находится между частями. Приведенная схема не отличается от рабочей схемы на рис. 6-27. На такой «скелетной» схеме указываются все данные, необходимые для выполнения обмотки.

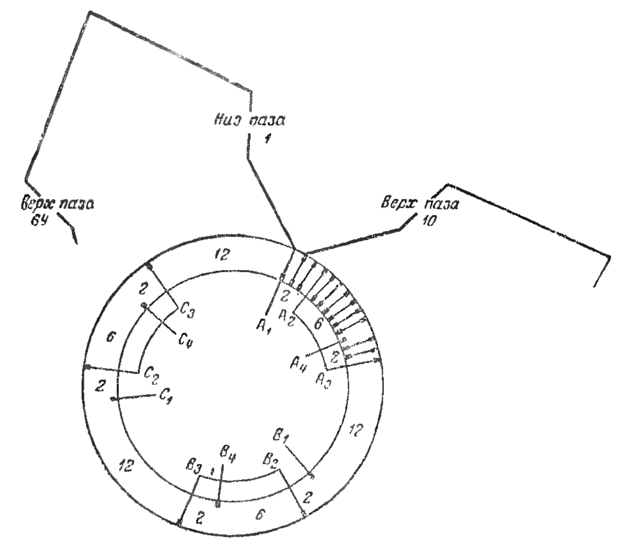



Рис. 6-13. Рабочая схема обмотки с укороченными переходами (ук. ш.), показанной на рис. 6-11.

Если используются полусекции, то обмотчик сначала укладывает все нижние проводники, отмечая нижний проводник паза *1*. Затем он укладывает все верхние проводники. После этого, начиная с нижнего проводника *1* и соединяя его с верхним проводником *64*, выполняются подряд одно за другим все соединения между верхними и нижними проводниками на стороне, противоположной выводам. На стороне выводов нижний проводник *1* отмечается для присоединения его к контактному кольцу. Верхний проводник *10* соединяется хомутиком с нижним проводником *2* и верхний проводник *11* с нижним проводником *3*. Это согласуется со схемой, где показаны 2 соединения между



верхними и нижними проводниками по направлению движения стрелки часов от $A_1$.

Следующий верхний проводник—вывод $A_2$ поворотного соединения. Далее следуют 6 хомутиков (соединений), соединяющих 6 верхних и 6 нижних проводников. Ближай-

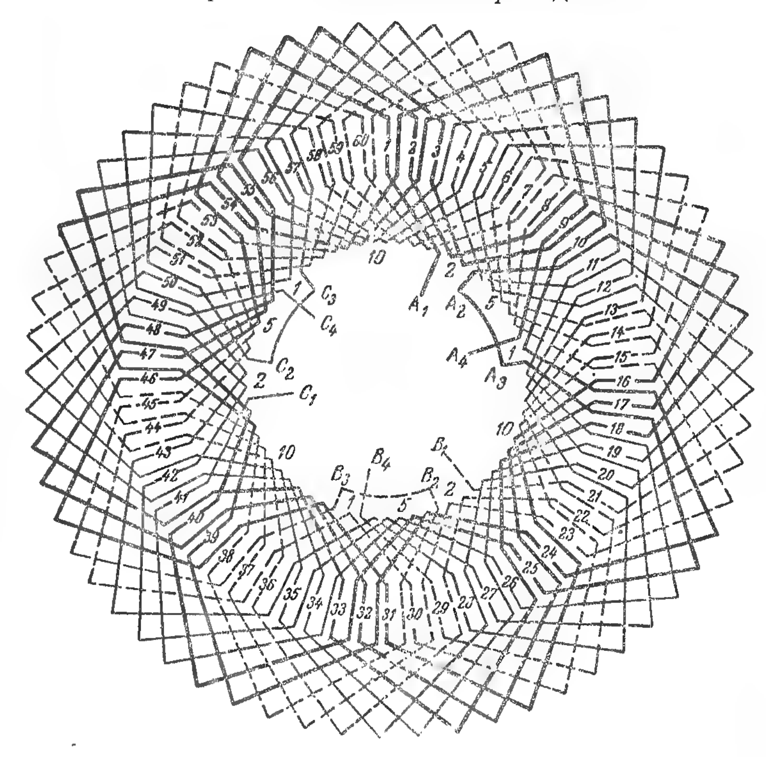


Рис. 6-14. Полная схема обмотки с укороченными переходами (ук. ш.) для 60 пазов, 8 полюсов и ППФ$=2^1/_2$.

щий нижний проводник—вывод $A_4$, за которым следуют 2 соединения между 2 верхними и 2 нижними проводниками. Следующий верхний проводник—вывод поворотного соединения $A_3$, который соединяется с $A_2$. Далее следуют 12 соединений между 12 верхними и 12 нижними проводниками. Процесс продолжается вдоль всей окружности, пока не будут выполнены все соединения обмотки.

Если используются целые катушки (секции), то обмотчик укладывает первую катушку, отмечая ее под номе-

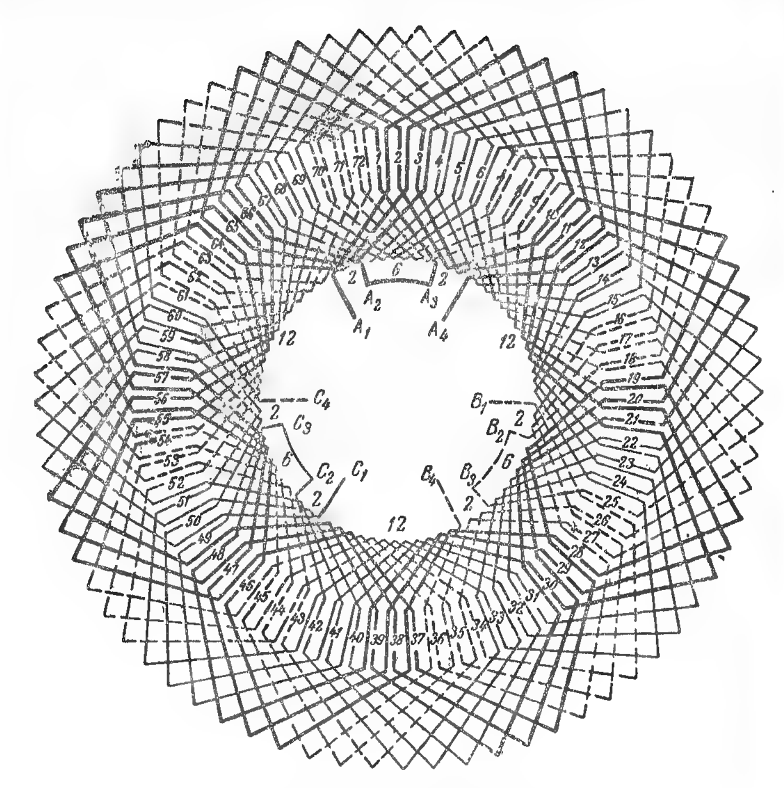


Рис. 6-15. Полная схема обмотки с удлиненными переходами (удл. ш.) в одной части и укороченными переходами (ук. ш.) в другой части для 72 пазов, 8 полюсов и ППФ=3.

ром 1. Нижняя катушечная сторона помещается в нижней части паза *1*, а верхняя катушечная сторона—в пазу *64* (так как в данном случае задний шаг равен 9 пазовым делениям). Затем обмотчик укладывает катушки нормальным образом по направлению вращения стрелки часов, если смотреть со стороны концевых соединений, пока не будет уложена нижняя катушечная сторона в нижней части паза *19*, а соответствующая верхняя катушечная сторона—в пазу *10*. Последняя катушечная сторона (проводник) теперь отмечается для соединения ее с нижним проводником паза *2*. Тем самым фиксируются начальные точки. После этого укладываются остальные катушки, и обмотчик, возвращаясь к начальным точкам, выполняет сое-



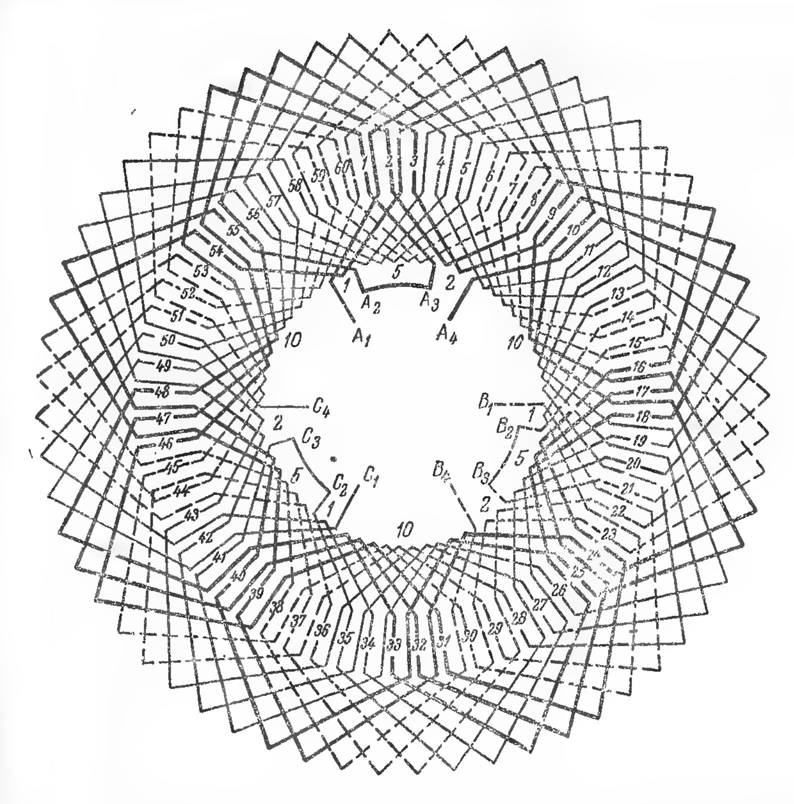


Рис. 6-16. Полная схема обмотки с удлиненными переходами (удл. ш.) в одной части и укороченными переходами (ук. ш.) в другой части для 60 пазов, 8 полюсов и ППФ=$2^1/_2$.

динения концов катушек в той последовательности, которая указывается в соответствующей рабочей схеме. Метод проверки соединений дается в § 12-3.

На рис. 6-14 представлена полная схема 8-полюсной обмотки с укороченными переходами при 60 пазах и ППФ=$2^1/_2$. Окончательная рабочая схема дана на рис. 6-26.

На рис. 6-15 показана полная схема 8-полюсной обмотки с удлиненными переходами в одной части и с укороченными переходами в другой части при 72 пазах и ППФ=3. Окончательная рабочая схема приведена на рис. 6-75.

На рис. 6-16 показана полная схема 8-полюсной обмотки с удлиненными переходами в одной части и с укорочен-

ными переходами в другой части при 60 пазах и ППФ $=2^1/_2$. Окончательная рабочая схема приведена на рис. 6-74.

Использование таблиц и рабочих схем будет пояснено на нескольких примерах:

Пример 1. 10-полюсный ротор имеет 90 пазов и обмотку с укороченными переходами. Основная табл. 3-5 дает для 90 пазов и 10 полюсов ППФ=3. Таблица соединений 6-4 для обмотки с укороченными переходами при ППФ=3 и 10 полюсах дает следующее расположение выводов и поворотных соединений:

| Выводы | | Поворотные соединения | |
|---|---|---|---|
| $A_1$ — нижний проводник | *1* | $A_2$ — верхний проводник | *12* |
| $A_4$ — » » | *10* | $A_3$ — » » | *21* |
| $B_1$ — » » | *61* | $B_2$ — » » | *72* |
| $B_4$ — » » | *70* | $B_3$ — » » | *81* |
| $C_1$ — » » | *31* | $C_2$ — » » | *42* |
| $C_4$ — » » | *40* | $C_3$ — » » | *51* |

Таблица распределения проводников 6-30 указывает номера пазов, принадлежащих различным фазам; в ней также указано, что пазы *1*, *10*, *12*, *21* принадлежат фазе $A$, пазы *61*, *70*, *72*, *81* принадлежат фазе $B$ и пазы *31*, *40*, *42*, *51* принадлежат фазе $C$.

Таблица соединений 6-4 указывает, что задний шаг равен переднему шагу равен 9 пазовым делениям. Далее, таблица соединений указывает число и расположение укороченных и нормальных передних шагов. Таким образом, из этой таблицы и таблицы распределения можно получить данные, необходимые для составления полной схемы обмотки или ее рабочей схемы. Рабочая схема данной обмотки показана на рис. 6-34. Короткие радиальные линии соответствуют хомутикам. На этом рисунке указаны начало и конец первого ряда катушек фазы $A$, задний шаг и последовательность укороченных и нормальных передних шагов для всех 3 фаз. Так как ППФ=3, то задний шаг, а также и передний равны $3\times3=9$ пазовым делениям. Таким образом, нижний проводник *1* соединяется с верхним проводником $(1+90)-9=$ *82* и последний проводник первого ряда катушек фазы $A$ — верхний проводник (1+задний шаг)=1+9=*10* (см. рис. 6-113). От начала каждой фазы следуют (ППФ — 1)=3 — 1=2 соединения, соответствующие укороченным передним шагам, затем от поворотного соединения идут $2\times$ППФ$=2\times3=6$ соединений, соответствующих нормальным передним шагам, после этого от второго вывода фазы — снова (ППФ—1)=2 соединения, соответствующие укороченным передним шагам, и, наконец, 18 соединений, соответствующих нормальным передним шагам. Начало и конец каждой фазы присоединяются к нижним проводникам, поворотное соединение — к верхним проводникам. Таблица соединений дает те же самые указания.

Пример 2. 14-полюсный ротор имеет 147 пазов и обмотку с укороченными переходами. Из основной табл. 3-5 получаем для 147 пазов и 14 полюсов ППФ $=3^1/_2$. Таблица соединений 6-5 для обмотки с укороченными переходами при ППФ $=3^1/_2$ и 14 полюсах указывает следующее расположение выводов и поворотных соединений:



| Выводы | | Поворотные соединения | |
|---|---|---|---|
| $A_1$ — нижний проводник | *1* | $A_2$ — верхний проводник | *14* |
| $A_4$ — » » | *12* | $A_3$ — » » | *24* |
| $B_1$ — » » | *50* | $B_2$ — » » | *63* |
| $B_4$ — » » | *61* | $B_3$ — » » | *73* |
| $C_1$ — » » | *99* | $C_2$ — » » | *112* |
| $C_4$ — » » | *110* | $C_3$ — » » | *122* |

Таблицы распределения проводников 6-31 и 6-32 указывают номера пазов, принадлежащих различным фазам; в них также указывается, что пазы *1*, *12*, *14*, *24* принадлежат фазе $A$, пазы *50*, *61*, *63*, *73* принадлежат фазе $B$ и пазы *99*, *110*, *112*, *122* принадлежат фазе $C$. Таблицы распределения проводников могут быть также использованы для изменения промежутков между началами фаз, если это необходимо (см. § 6-4). Таблица соединений 6-5 указывает, что задний шаг равен 11 пазовым делениям, а передний шаг равен 10 пазовым делениям. Далее, таблица соединений указывает число и расположение укороченных и нормальных передних шагов.

Рабочая схема обмотки приведена на рис. 6-46. Задний шаг — $(3\times$ППФ$)+{}^1/_2=3\times3^1/_2+{}^1/_2=11$, а передний шаг — (задний шаг — 1)$=11-1=$ *10*. Следовательно, нижний проводник *1* соединяется с верхним проводником $(1+147)-11=$ *137*; последний проводник первого ряда катушек фазы $A$ — верхний проводник *11* (равен заднему шагу) (см. рис. 6-114). От начала каждой фазы следуют (ППФ $-{}^1/_2$)$=3^1/_2-{}^1/_2=3$ соединения, соответствующие укороченным передним шагам, затем поворотное соединение и $2\times$ППФ$=2\times3^1/_2=7$ соединений, соответствующих нормальным передним шагам, далее второй вывод и (ППФ$-1^1/_2$)$=3^1/_2-1^1/_2=2$ соединения, соответствующие укороченным передним шагам, после этого снова поворотное соединение и, наконец, 35 соединений, соответствующих нормальным передним шагам. Начало и конец каждой фазы присоединяются к нижним проводникам, поворотное соединение — к верхним проводникам. Таблица соединений дает те же самые указания.

Пример 3. 6-полюсный ротор имеет 54 паза и обмотку с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части. Из основной табл. 3-5 получаем для 54 пазов и 6 полюсов ППФ=3. Таблица соединений 6-16 для данной обмотки при ППФ=3 указывает следующее расположение выводов и поворотных соединений:

| Выводы | | Поворотные соединения | |
|---|---|---|---|
| $A_1$ — верхний проводник | *1* | $A_2$ — нижний проводник | *48* |
| $A_4$ — » » | *12* | $A_3$ — » » | *1* |
| $B_1$ — » » | *25* | $B_2$ — » » | *18* |
| $B_4$ — » » | *36* | $B_3$ — » » | *25* |
| $C_1$ — » » | *13* | $C_2$ — » » | *6* |
| $C_4$ — » » | *24* | $C_3$ — » » | *13* |

Из таблицы соединений получаем, что задний шаг равен переднему равен 9 пазовым делениям и что первая часть (обходы по движению часовой стрелки) каждой фазы имеет 2 удлиненных передних шага, а вторая часть (обходы против движения часовой стрелки) каждой фазы имеет 2 укороченных передних шага. Таблица также указывает, что имеются 6 соединений, соответствующих нормальным передним шагам: между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$.

Распределение проводников данной обмотки приведено в табл. 6-30, а рабочая схема представлена на рис. 6-67. Задний и передний шаги равны (3×ППФ) = 3×3 = 9 пазовым делениям. Следовательно, верхний проводник *1* соединяется с нижним проводником 1+9=*10*, последний проводник первого ряда катушек фазы *A* — нижний проводник (1+число пазов — задний шаг) = 1+54 — 9=*46* (см. рис. 6-115). От начала каждой фазы следуют (ППФ — 1) = 3 — 1 = 2 соединения, соответствующие укороченным передним шагам, затем поворотное соединение и (2×ППФ) = 2×3 = 6 соединений, соответствующих нормальным передним шагам, далее — снова поворотное соединение и (ППФ — 1) = = 3 — 1 = 2 соединения, соответствующие укороченным передним шагам, и после этого конец каждой фазы. Между выводом $A_4$ и выводом $C_1$, а также между выводом $C_4$ и выводом $B_1$ нет соединений, но между выводом $B_4$ и выводом $A_1$ имеются 18 соединений, соответствующих нормальным передним шагам.

В предыдущих примерах 10-полюсной и 14-полюсной обмоток начала 3 фаз сдвинуты на 120 геометрических (также и электрических) градусов и число соединений, соответствующих нормальным передним шагам, между вторым выводом поворотного соединения и началом ближайшей следующей фазы — одно и то же для всех 3 фаз. Одинаковые промежутки между началами 3 фаз нельзя получить, если число полюсов равно 6 или кратно 6, т. е. равно 12, 18, 24 и т. д. В этих случаях число соединений, соответствующих нормальным передним шагам, между выводами (или поворотными соединениями) определяется по таблице соединений.

Рассмотрим снова таблицу соединений 6-16 для 6-полюсной обмотки. Второй вывод или конец фазы *A* находится в верхней части паза *12* и начало фазы *C* — в верхней части паза *13*. Далее, второй вывод фазы *C* находится в верхней части паза *24* и начало фазы *B* — в верхней части паза *25*.

Следовательно, между концом фазы *A* ($A_4$) и началом фазы *C* ($C_1$), а также между концом фазы *C* ($C_4$) и началом фазы *B* ($B_1$) отсутствуют соединения, соответствующие нормальным передним шагам, но между концом фазы *B* ($B_4$) и началом фазы *A* ($A_1$) имеется 18 соединений, соответствующих нормальным передним шагам.

**6-4. Общие правила составления таблиц распределения проводников и таблиц соединений.** При составлении таблицы соединений прежде всего нужно найти начала 3 фаз: $A_1$, $B_1$ и $C_1$ (см. рис. 6-5, 6-6, 6-9 и 6-10). Для этого могут быть использованы или таблица распределения проводников, если она имеет необходимые данные, или приведенные ниже формулы.

Для волновой обмотки с ППФ, равным целому числу, применимы те же правила, что и для петлевой обмотки с ППФ, равным целому числу. Например, при ППФ = 3 получаем следующие пазы, относящиеся к 3 фазам:

*1 — 2 — 3* (*A*) *4 — 5 — 6* (*C*) *7 — 8 — 9* (*B*) *10 — 11 — 12* (*A*)
*13 — 14 — 15* (*C*) *16 — 17 — 18.* (*B*)



Если ППФ = (целому числу + 1/2), то принадлежащие к 3 фазам (ППФ + 1/2) и (ППФ — 1/2) пазов следуют попеременно. Это применимо как к обмоткам с укороченными переходами, так и к обмоткам с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части, рассмотренным выше. Например, при ППФ = $3^1/_2$ получаем следующие нижние проводники, относящиеся к 3 фазам:

*1 — 2 — 3 — 4* (*A*) *5 — 6 — 7* (*C*) *8 — 9 — 10 — 11* (*B*) *12 — 13 — 14* (*A*)
*15 — 16 — 17 — 18* (*C*) *19 — 20 — 21.* (*B*)

Тогда распределение для верхних проводников будет (см. § 6-2):

*1 — 2 — 3* (*A*) *4 — 5 — 6 — 7* (*C*) *8 — 9 — 10* (*B*) *11 — 12 — 13 — 14* (*A*)
*15 — 16 — 17* (*C*) *18 — 19 — 20 — 21* (*B*)

Формулы, которые могут быть использованы вместо таблицы распределения проводников:

$$\left.\begin{array}{l} A_1 \text{ лежит в пазу } 1; \\ B_1 \text{ лежит в пазу} \\ (1 + 2 \times ППФ) + \dfrac{2 \times \textit{число пазов}}{\textit{число полюсов}} \times \textit{целое число}; \\ C_1 \text{ лежит в пазу} \\ (1 + 4 \times ППФ) + \dfrac{2 \times \textit{число пазов}}{\textit{число полюсов}} \times \textit{целое число}. \end{array}\right\} \quad (6\text{-}2)$$

Целое число может быть 0, 1, 2, 3 и т. д. Оно обычно неодинаково для $B_1$ и $C_1$. Целые числа определяют смещение начал фаз по окружности ротора и выбираются таким образом, чтобы расстояние между началами 3 фаз было равно 120 геометрическим градусам. Как отмечалось в § 6-3, это возможно только для чисел полюсов, не равных 6 и не кратных 6. Формулы справедливы как при ППФ, равном целому числу, так и при ППФ = (целому числу + + $^1/_2$).

После того как определены начала фаз, вторые выводы $A_4$, $B_4$, $C_4$ и выводы к поворотным соединениям $A_2$ и $A_3$, $B_2$

и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ могут быть определены по следующим формулам:

а) Обмотка с укороченными переходами, *ППФ* равно целому числу

$$\left.\begin{aligned}
&A_2=A_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1);\\
&B_2=B_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1);\\
&C_2=C_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1);\\
&A_3=A_2+\textit{задний шаг};\\
&B_3=B_2+\textit{задний шаг};\\
&C_3=C_2+\textit{задний шаг};\\
&A_4=A_1+\textit{задний шаг};\\
&B_4=B_1+\textit{задний шаг};\\
&C_4=C_1+\textit{задний шаг}.
\end{aligned}\right\}\qquad(6\text{-}3а)$$

Число соединений, соответствующих укороченным передним шагам, между $A_1$ и $A_2=\textit{ППФ}-1$;
число соединений, соответствующих укороченным передним шагам, между $A_4$ и $A_3=\textit{ППФ}-1$. } (см. рис. 6-113).

б) Обмотка с укороченными переходами, *ППФ* равно целому числу $+{}^1/_2$

$$\left.\begin{aligned}
&A_2=A_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1^1/_2);\\
&A_3=A_2+(\textit{задний шаг}-1);\\
&A_4=A_1+\textit{задний шаг};\\
&B_2=B_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1^1/_2);\\
&B_3=B_2+(\textit{задний шаг}-1);\\
&B_4=B_1+\textit{задний шаг};\\
&C_2=C_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1^1/_2);\\
&C_3=C_2+(\textit{задний шаг}-1);\\
&C_4=C_1+\textit{задний шаг}.
\end{aligned}\right\}\qquad(6\text{-}3б)$$

Число соединений, соответствующих укороченным передним шагам, между $A_1$ и $A_2=\textit{ППФ}-{}^1/_2$;
число соединений, соответствующих укороченным передним шагам, между $A_4$ и $A_3=\textit{ППФ}-1^1/_2$. } (см. рис. 6-114).



в) Обмотка с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части, *ППФ* равно целому числу

$$\left.\begin{aligned}
&A_2=A_1+(\textit{число пазов}-\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1);\\
&A_3=A_1;\\
&A_4=A_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1);\\
&B_2=B_1+(\textit{число пазов}-\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1);\\
&B_3=B_1;\\
&B_4=B_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1);\\
&C_2=C_1+(\textit{число пазов}-\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1);\\
&C_3=C_1;\\
&C_4=C_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1).
\end{aligned}\right\}\qquad(6\text{-}3в)$$

Число соединений, соответствующих удлиненным передним шагам, между $A_1$ и $A_2=\textit{ППФ}-1$;
число соединений, соответствующих укороченным передним шагам, между $A_3$ и $A_4=\textit{ППФ}-1$. } (см. рис. 6-115).

г) Обмотка с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части, *ППФ* равно целому числу $+{}^1/_2$

$$\left.\begin{aligned}
&A_2=A_1+(\textit{число пазов}-\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-{}^1/_2);\\
&A_3=A_1;\\
&A_4=A_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1^1/_2);\\
&B_2=B_1+(\textit{число пазов}-\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-{}^1/_2);\\
&B_3=B_1;\\
&B_4=B_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1^1/_2);\\
&C_2=C_1+(\textit{число пазов}-\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-{}^1/_2);\\
&C_3=C_1;\\
&C_4=C_1+(\textit{задний шаг}+\textit{ППФ}-1^1/_2).
\end{aligned}\right\}\qquad(6\text{-}3г)$$

Число соединений, соответствующих удлиненным передним шагам, между $A_1$ и $A_2 = ППФ - 1^1/_2$;
число соединений, соответствующих укороченным передним шагам, между $A_3$ и $A_4 = ППФ - {}^1/_2$.
} (см. рис. 6-116).

Для обмотки с укороченными переходами между $A_2$ и $A_4$ всегда лежит $2 \times$ ППФ соединений, соответствующих нормальным передним шагам, а для обмотки с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части между $A_2$ и $A_3$ всегда лежит $2 \times$ ППФ соединений, соответствующих нормальным передним шагам. Это обстоятельство может быть также использовано для проверки или определения ППФ волновой обмотки.

Если число проводников на паз больше 2 (см. § 6-6), то число хомутиков между $A_2$ и $A_4$ или $A_2$ и $A_3$ нужно разделить на число проводников в одном слое, чтобы найти действительное значение ППФ.

Число соединений, соответствующих нормальным передним шагам, следующих от вывода поворотного соединения $A_3$ в обмотке с укороченными переходами (см. рис. 6-113 и 6-114) или от вывода $A_4$ в обмотке с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части (см. рис. 6-115 и 6-116), зависит от полного числа пазов и числа полюсов. В § 6-3 было указано, что одинаковые промежутки между началами фаз могут быть получены только в обмотках с числом полюсов, не равным и не кратным 6. В случае одинаковых промежутков число соединений, соответствующих нормальным передним шагам, между выводом поворотного соединения $A_3$ или между выводом $A_4$ и началом ближайшей фазы равно:

$$\frac{\textit{число пазов}}{3} - 4 \times ППФ.$$

Если число полюсов равно 6 или кратно 6, то число соединений, соответствующих нормальным передним шагам, между $A_3$ или $A_4$ и началом ближайшей фазы зависит от номера паза, в котором ближайшая фаза начинается. Номер этого паза можно взять из таблицы соединений или определить для каждого случая.

Обратимся к тем же 3 примерам, которые были рассмотрены в § 6-3.



П р и м е р 1. 10-полюсный ротор с 90 пазами и обмоткой с укороченными переходами. Здесь ППФ = 3, задний шаг равен переднему шагу равен 9 пазовым делениям [см. уравнение (6-1)]. Начало фазы $A$ лежит в пазу *1*. Начало фазы $B$ может лежать в пазу $(1 + 2 \times 3) + \frac{2 \times 90}{10} \times$ целое число $= 7 + 18 \times$целое число [см. уравнение (6-2)]. Целое число может быть равно 0, 1, 2 или 3, т. е. начало фазы $B$ может лежать в одном из пазов *7, 25, 43, 61* или *79*. Начало фазы $C$ может лежать в пазу $(1 + 4 \times 3) + 18 \times$ целое число $= 13 + 18 \times$ целое число, где целое число 0, 1, 2 или 3, т. е. начало фазы $C$ может лежать в одном из пазов *13, 31, 49, 67* или *85*.

Одинаковые промежутки между началами фаз получим, если фаза $A$ будет начинаться в пазу *1*, а две другие фазы — соответственно в пазах $\left(1 + \frac{90}{3}\right)$ и $\left(1 + 2 \times \frac{90}{3}\right)$, т. е. в пазах *31* и *61*: начало фазы $C$ — в пазу *31*, начало фазы $B$ — в пазу *61*. То же самое получим из таблицы распределения проводников 6-30 для ППФ = 3: Отметим, что паз, выбранный за начало фазы $B$, должен иметь ту же самую полярность, что и паз *7*, а паз, выбранный за начало фазы $C$, должен иметь ту же самую полярность, что и паз *13*, т. е. паз, выбранный за начало фазы, должен иметь ту же полярность, что и п е р в ы й паз из ряда пазов, которые могут быть взяты как начало этой фазы.

Для других выводов 3 фаз формула (6-3а) дает:

$$A_2 = 1 + (9 + 3 - 1) = 12;$$
$$B_2 = 61 + (9 + 3 - 1) = 72;$$
$$C_2 = 31 + (9 + 3 - 1) = 42;$$
$$A_3 = 12 + 9 = 21;$$
$$B_3 = 72 + 9 = 81;$$
$$C_3 = 42 + 9 = 51;$$
$$A_4 = 1 + 9 = 10;$$
$$B_4 = 61 + 9 = 70;$$
$$C_4 = 31 + 9 = 40.$$

Между $A_1$ и $A_2$, а также между $A_3$ и $A_4$ имеются ППФ—1=2 соединения, соответствующие укороченным передним шагам; между $A_2$ и $A_4$ — $2 \times$ППФ $= 6$ соединений, соответствующих нормальным передним шагам; между $A_3$ и $C_1$, $C_3$ и $B_1$, $B_3$ и $A_1$ $\frac{90}{3} - 4 \times$ППФ $= 30 - 12 = 18$ соединений, соответствующих нормальным передним шагам. Это соответствует данным таблицы соединений 6-4 для обмотки с укороченными переходами при ППФ = 3. Проводники $A_1$, $A_4$, $B_1$, $B_4$, $C_1$, $C_4$ — нижние проводники, а проводники $A_2$, $A_3$, $B_2$, $B_3$, $C_2$, $C_3$ — верхние проводники (см. стр. 289).

П р и м е р 2. 14-полюсный ротор с 147 пазами и обмоткой с укороченными переходами, ППФ $= 3^1/_2$, задний шаг равен 11, передний шаг равен 10 пазовым делениям [см. уравнение (6-1)]. Начало фазы $A$ лежит в пазу *1*. Начало фазы $B$ лежит в одном из пазов $(1 + 2 \times 3^1/_2) + \frac{2 \times 147}{14} \times$ целое число $= 8 \times 21 \times$целое число, где целое число

0, 1, 2, 3, 4, 5 или 6, т. е. начало фазы $B$ может лежать в одном из пазов *8, 29, 50, 71, 92, 113* или *134* [см. уравнение (6-2)]. Начало фазы $C$ может лежать в одном из пазов $(1+4\times 3^1/_2)+21\times$ целое число $=$ *15, 36, 57, 78, 99* или *120*. При одинаковых промежутках начала 3 фаз должны быть в пазах *1*, $1+\frac{147}{3}=50$ и $1+2\times\frac{147}{3}=99$. Следовательно, начало фазы $B$ будет в пазу *50*, а начало фазы $C$ в пазу *99*. Из таблицы распределения проводников следует, что эти пазы могут быть выбраны за начала фаз, так как паз *50* имеет ту же самую полярность, что и паз *8*, а паз *99* — ту же самую полярность, что и паз *15*. Для других выводов 3 фаз формула (6-3б) дает:

$$A_2=1\ \ +(11+3^1/_2-1^1/_2)=14;$$
$$B_2=50+(11+3^1/_2-1^1/_2)=63;$$
$$C_2=99+(11+3^1/_2-1^1/_2)=112;$$
$$A_3=14+(11-1)=24;$$
$$B_3=63+(11-1)=73;$$
$$C_3=112+(11-1)=122;$$
$$A_4=1\ \ +11=12;$$
$$B_4=50+11=61;$$
$$C_4=99+11=110.$$

Между $A_1$ и $A_2$ находятся $(ППФ-{}^1/_2)=3$ соединения, соответствующие укороченным передним шагам, между $A_4$ и $A_3$—$(ППФ-1^1/_2)=2$ соединения, соответствующие укороченным передним шагам. Между $A_2$ и $A_4$ находятся $2\times ППФ=7$ соединений, соответствующих нормальным передним шагам.

Между $A_3$ и $B_1$, $B_3$ и $C_1$, $C_3$ и $A_1$ находится $\frac{147}{3}-4\times ППФ=49-14=35$ соединений, соответствующих нормальным передним шагам. Это соответствует данным таблицы соединений 6-5 для обмотки с укороченными переходами при $ППФ=3^1/_2$. Проводники $A_1$, $A_4$, $B_1$, $B_4$, $C_1$, $C_4$ — нижние проводники. Проводники $A_2$, $A_3$, $B_2$, $B_3$, $C_2$, $C_3$ — верхние проводники (см. стр. 293).

Пример 3. 6-полюсный ротор с 54 пазами и обмоткой с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части, $ППФ=3$, задний шаг равен переднему шагу равен 9 [см. уравнение (6-1)]. Начало фазы $B$ может лежать в одном из пазов $(1+2\times 3)+\frac{2\times 54}{6}\times$ целое число $=7+18\times$целое число, где целое число 0, 1 или 2, т. е. в пазах *7, 25* или *43*, а начало фазы $C$ может лежать в одном из пазов $(1+4\times 3)+\frac{2\times 54}{6}\times$ целое число $=13+18\times$ целое число, где целое число 0, 1 или 2, т. е. в пазу *13, 31* или *49* [см. уравнение (6-2)]. При одинаковых промежутках начала 3 фаз должны лежать в пазах *1*, $1+\frac{54}{3}=19$ и $1+2\times\frac{54}{3}=37$. Из таблицы распределения проводников 6-30³ следует, что пазы *19* и *37* не входят в ряды пазов, которые могут быть взяты как начала фаз $B$ и $C$ (соответственно *7, 25, 43* и *13, 31, 49*). Следовательно, здесь



нельзя получить одинаковые промежутки между началами фаз и должны быть выбраны другие пазы. Паз *13* может быть выбран как начало фазы $C$, а паз *25* — как начало фазы $B$. Положение других выводов может быть определено по формуле (6-3в).

**6-5. Общие правила составления рабочей схемы.** В § 6-3 были приведены многие рабочие схемы для различных чисел полюсов, различных значений ППФ и для обоих типов соединений—с укороченными переходами и с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части. Число и последовательность ненормальных и нормальных передних шагов в пределах выводов каждой фазы определяются значением ППФ и типом соединений. Они не зависят от числа полюсов. Рис. 6-113—6-116 показывают числа и последовательность ненормальных и нормальных передних шагов фазы $A$ для соединений с укороченными переходами и соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части. Они также показывают начало и конец первого ряда катушек фазы $A$. Рис. 6-113 и 6-115 относятся к ППФ, равному целому числу. Рис. 6-114 и 6-116 относятся к ППФ$=$(целому числу $+\,^1/_2$).

Как указывалось в § 6-4, число соединений, соответствующих нормальным передним шагам, между выводом к поворотному соединению $A_3$ и началом ближайшей фазы для обмоток с укороченными переходами (рис. 6-113 и 6-114) или между $A_4$ и началом ближайшей фазы для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части (рис. 6-115 и 6-116) зависит от числа пазов и числа полюсов. Для смещения между выводами в 120 геометрических и электрических градусов число соединений, соответствующих нормальным передним шагам, следующих от $A_3$ для обмоток с укороченными переходами и от $A_4$ для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части, должно быть равно:

$$\frac{\textit{число пазов}}{3}-4\times ППФ,$$

за исключением обмоток, имеющих число полюсов, равное 6 или кратное 6. Для последних случаев должно быть выбрано другое смещение выводов, и число соединений, соответствующих нормальным передним шагам, между $A_3$ или $A_4$ для указанных обмоток и началом ближайшей фазы будет зависеть от номера паза, начального для ближайшей фазы.

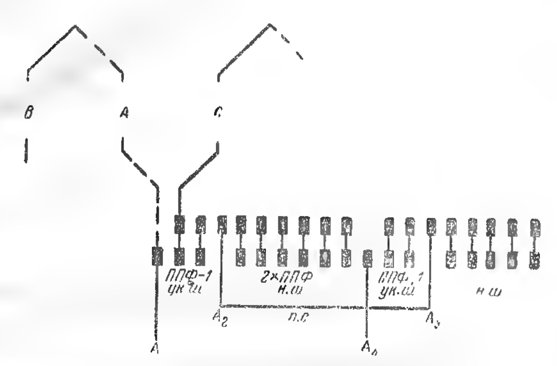



Рис. 6-113. Общая рабочая схема для определения начала и конца первого ряда катушек фазы *A* и последовательности соединений катушек около выводов фазы *A* для обмотки с укороченными переходами (ук. ш.) при ППФ, равном целому числу.

*A* — низ паза *1*; *B* — верх паза (1 + число пазов — задний шаг); *C* — верх паза (1 + задний шаг); *ук. ш.*—соединения с укороченными передними шагами; *н.ш.*—соединения с нормальными передними шагами; *п. с.* — поворотное соединение.

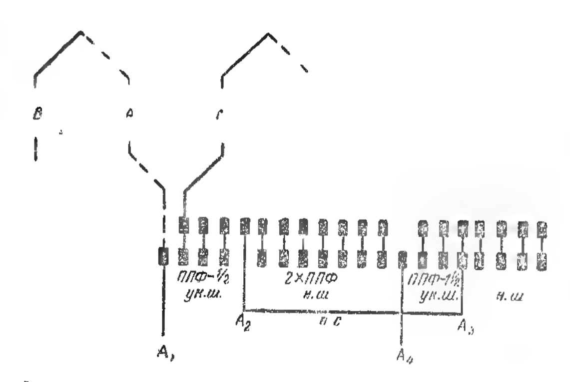



Рис. 6-114. Общая рабочая схема для определения начала и конца первого ряда катушек фазы *A* и последовательности соединений катушек около выводов фазы *A* для обмотки с укороченными переходами (ук. ш.) при ППФ=(целому числу + $^1/_2$)

*A* — низ паза *1*; *B* — верх паза (1 + число пазов — задний шаг); *C* — верх паза (равен заднему шагу); *ук. ш.* — соединения с укороченными передними шагами; *н. ш.* — соединения с нормальными передними шагами; *п. с.* — поворотное соединение.



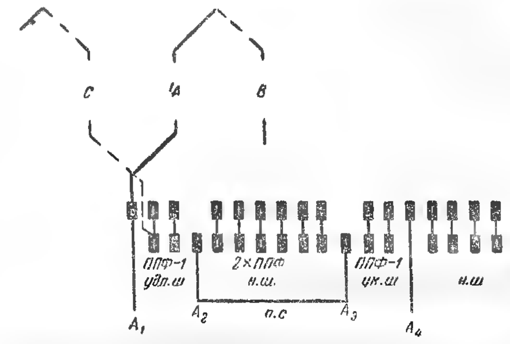



Рис. 6-115. Общая рабочая схема для определения начала и конца первого ряда катушек фазы *A* и последовательности соединений катушек около выводов фазы *A* для обмотки с удлиненными переходами (удл. ш.) в одной части и укороченными переходами (ук. ш.) в другой части при ППФ, равном целому числу.

*A* — верх паза *1*; *B* — низ паза (1 + задний шаг); *C* — низ паза (1 + число пазов—задний шаг); *ук. ш.* — соединения с укороченными передними шагами; *н. ш.* — соединения с нормальными передними шагами; *удл. ш.* — соединения с удлиненными передними шагами; *п. с.*—поворотное соединение.

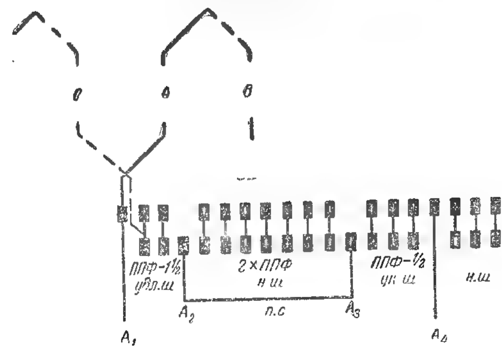



Рис. 6-116. Общая рабочая схема для определения начала и конца первого ряда катушек фазы *A* и последовательности соединений катушек около выводов фазы *A* для обмотки с удлиненными переходами (удл. ш.) в одной части и укороченными переходами (ук. ш.) в другой части при ППФ=(целому числу + $^1/_2$).

*A* — верх паза *1*; *B* — низ паза (1 + задний шаг); *C* — низ паза (2 + число пазов—задний шаг); *ук. ш.* — соединения с укороченными передними шагами; *н. ш.* — соединения с нормальными передними шагами; *удл. ш.* — соединения с удлиненными передними шагами; *п. с.* — поворотное соединение.

П о л н о е  ч и с л о  с о е д и н е н и й на стороне выводов обмотки равно числу пазов минус 6. Полное число хомутиков для обмотки из полусекций равно полному числу хомутиков на стороне выводов обмотки плюс полное число хомутиков на стороне, противоположной выводам. Число хомутиков на стороне, противоположной выводам, равно числу катушек. Рис. 6-113—6-116, как и приведенные в предыдущем указании, относятся к фазе *A*. Они применимы также к фазам *B* и *C*.

Рассмотрим те же примеры, что и в § 6-3.

П р и м е р 1. 10-полюсный ротор с 90 пазами и обмоткой с укороченными переходами. Обратимся в данном случае к рис. 6-34 и 6-113 и таблице соединений 6-4. Табл. 6-4 указывает, что задний шаг равен 9 пазовым делениям. Рис. 6-113 показывает, что $A_1$, начало первого ряда катушек фазы *A*, лежит внизу паза *1* и соединяется задним шагом, равным 9, с верхним проводником 1+90 — 9=*82*. Рис. 6-113 также показывает, что конец первого ряда катушек лежит в верхней части паза 1+9=*10* и соединяется с нижним проводником *2*. Из него так же видно, как и из табл. 6-4, что между $A_1$ и верхним выводом $A_2$ к поворотному соединению находятся (ППФ — 1)=2 соединения, соответствующие укороченным передним шагам. Следуя от $A_2$, получаем 2×ППФ=2×3=6 соединений, соответствующих нормальным передним шагам, между $A_2$ и нижним выводом $A_4$. Следуя от $A_4$, получаем еще 2 соединения, соответствующие укороченным передним шагам, до верхнего вывода $A_3$ поворотного соединения. Из таблицы соединений 6-4 видно, что, следуя от $A_3$, получим 18 катушек между $A_3$ и началом ближайшей фазы $C_1$. Таблица также указывает последовательность соединений катушек от $C_1$ и от $B_1$, чему соответствует рабочая схема на рис. 6-34.

П р и м е р 2. 14-полюсный ротор со 147 пазами и обмоткой с укороченными переходами. В данном случае обратимся к рис. 6-46 и 6-114 и таблице соединений 6-5. Табл. 6-5 указывает, что задний шаг равен 11 пазовым делениям. Рис. 6-114 показывает, что $A_1$, начало первого ряда катушек фазы *A*, лежит внизу паза *1* и соединяется задним шагом, равным 11, с верхним проводником (1+147 — 11)=*137*. Рис. 6-114 также показывает, что конец первого ряда катушек — верхний проводник паза 1+11=*12* и что он соединяется с нижним проводником *2*. Из него так же видно, как и из табл. 6-5, что между $A_1$ и верхним выводом $A_2$ к поворотному соединению находятся (ППФ — — $^1/_2$)=3$^1/_2$ — $^1/_2$=3 соединения, соответствующие укороченным передним шагам. Следуя от $A_2$, имеем 2×3$^1/_2$=7 соединений, соответствующих нормальным передним шагам, между $A_2$ и нижним выводом $A_4$. Следуя от $A_4$, имеем теперь (ППФ — 1$^1/_2$)=(3$^1/_2$ — 1$^1/_2$)=2 соединения, соответствующие укороченным передним шагам, до верхнего вывода $A_3$ поворотного соединения. Из таблицы соединений 6-4 видно, что, следуя от $A_3$, получим 35 соединений, соответствующих нормальным передним шагам, между $A_3$ и началом ближайшей фазы $B_1$. Таблица также указывает последовательность соединений катушек от $B_1$ и от $C_1$, чему соответствует рабочая схема на рис. 6-46.

П р и м е р 3. 6-полюсный ротор с 54 пазами и обмоткой с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части. В данном случае обратимся к рис. 6-67 и 6-115 и таблице соединений 6-16. Таблица соединений указывает, что задний шаг равен 9 пазовым делениям. Следуя в том же направлении, как на рис. 6-115, получим начало и конец первого ряда фазы *A*. На рисунке показано, что верхний проводник $A_1$ соединяется задним шагом, равным 9, с нижним проводником *10* и что конец ряда катушек — нижний проводник паза *46* — соединяется с верхним проводником *2*. Следуя от $A_1$, получаем 2 соединения, соответствующие удлиненным передним шагам, нижний вывод $A_2$ к поворотному соединению, 6 соединений, соответствующих нормальным передним шагам, нижний вывод $A_3$ к поворотному соединению, 2 соединения, соответствующие укороченным передним шагам, и наконец верхний вывод $A_4$. Согласно табл. 6-16 указанная выше последовательность катушек будет точно такой же и для фаз *B* и *C*. Так как число полюсов 6, то промежутки между $A_1$, $B_1$ и $C_1$ не будут одинаковыми и число катушек между $A_4$ и $C_1$, $C_4$ и $B_1$, $B_4$ и $A_1$ будет зависеть от номера паза, в котором начинаются $C_1$ и $B_1$. В табл. 6-16 указано одно из решений, согласно которому между $A_4$ и $C_1$, $C_4$ и $B_1$ соединения отсутствуют, а между $B_4$ и $A_1$ имеется 18 соединений, соответствующих нормальным передним шагам. Соответственная рабочая схема приведена на рис. 6-67.



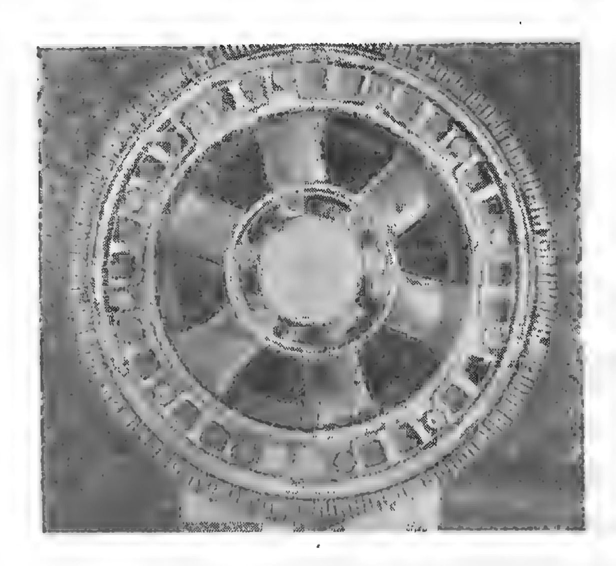


Рис. 6-117. Сторона выводов ротора с 210 пазами при 14 полюсах и ППФ=5. Обмотка с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части с 2 проводниками на паз. Видны 2 различных типа хомутиков: одни — открытые; другие, по размерам несколько бóльшие первых и по форме подобные цифре 8, — открытые (используются так же, как вентиляторные крылья). В 3 симметрично расположенных частях имеется по 4 проводника, 2 из которых присоединяются к поворотному соединению, а другие 2 — начало и конец фазы.

На рис. 6-117 представлена фотография ротора с 210 пазами со стороны выводов до присоединения к обмотке поворотных соединений и выводов.

**6-6. Волновая обмотка с числом проводников на паз, бóльшим 2.** Выше рассматривались обмотки с двумя проводниками на паз, по одному в каждом слое. Проводник может состоять из 2 параллельных нитей (элементарных проводников), изолированных вместе или отдельно, но при этом с концами, соединенными одним и тем же хомутиком. В общем случае все элементарные проводники, которые соединяются одним хомутиком, составляют единый проводник (эффективный). Если в пазу будет больше 2 про-

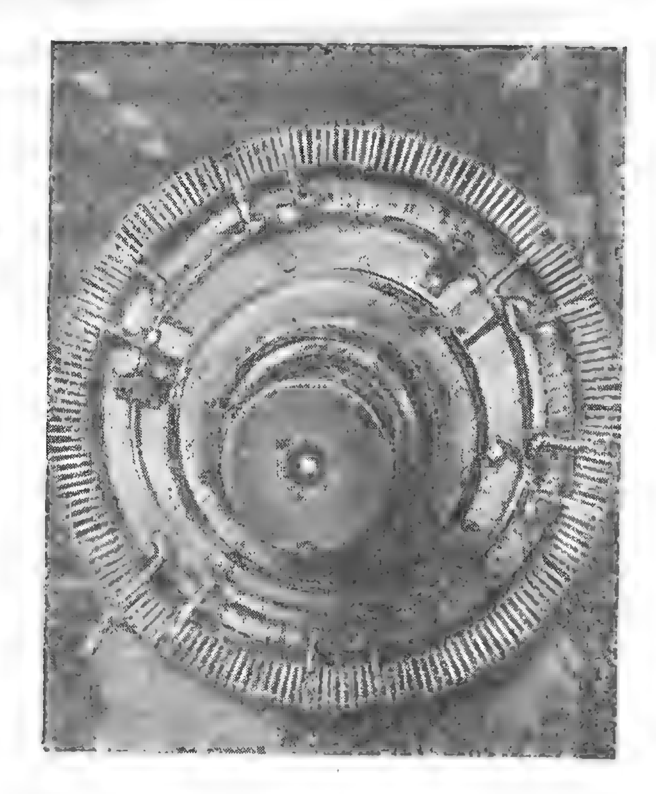


Рис. 6-118. Сторона выводов ротора с 90 пазами при 8 полюсах. Обмотка с укороченными переходами с 2 проводниками в одном слое паза.





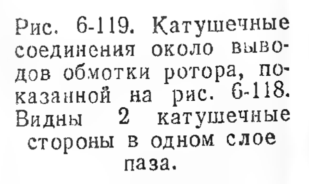


Рис. 6-119. Катушечные соединения около выводов обмотки ротора, показанной на рис. 6-118. Видны 2 катушечные стороны в одном слое паза.

водников, т. е. 2 или 3 в каждом слое, то число хомутиков увеличится так же, как и при увеличении числа пазов, имеющих только 2 проводника, по одному в слое. Например, 6-полюсный ротор с 54 пазами и 2 проводниками в каждом слое имеет то же самое число катушек и хомутиков, что и 6-полюсный ротор со 108 пазами и одним проводником в каждом слое. Следовательно, обмотка с числом проводников в слое, бóльшим 1, может рассматриваться как обмотка с фиктивным числом пазов, равным

действительному числу пазов×число проводников в слое, и фиктивным ППФ, равным

действительному ППФ×число проводников в слое. Если рассмотренная в примере 6-полюсная обмотка с 54 пазами, т. е. при ППФ=3, имеет 2 проводника в слое, то она будет представлена в таблице соединений 6-22 для ППФ=3×2=6 при 108 пазах. Рабочая схема этой обмотки—такая же, как при 6 полюсах и 108 пазах, т. е. при ППФ=6. Отметим, что числа, указанные в этом случае в таблицах соединений и распределения проводников, а также на рабочих схемах, относятся к проводникам, а не к пазам, т. е. для обмоток с 2 и более проводниками в слое нумеруются последовательно числами 1, 2, 3, 4 и т. д. верхние или нижние проводники, а не пазы.

Практический пример приведен на рис. 6-118 и 6-119, где показан фазный ротор, имеющий обмотку с укороченными переходами, соединенную в звезду при 2 катушечных сторонах в одном слое паза. Ротор имеет 90 пазов при 8 полюсах. Фиктивное число пазов равно $90 \times 2 = 180$ и фиктивное ППФ равно $\frac{90}{3 \times 8} 2 = 7^1/_2$. Можно видеть, что от вывода следуют (ППФ—$^1/_2$) = ($7^1/_2$—$^1/_2$) = 7 катушек (хомутиков), что между выводом к поворотному соединению ($A_2$) и выводом к нулевой точке ($A_4$) имеются $2 \times$ ППФ = $= 2 \times 7^1/_2 = 15$ хомутиков, что между выводом к нулевой точке ($A_4$) и оставшимся выводом к поворотному соединению ($A_3$) имеются (ППФ—$1^1/_2$) = ($7^1/_2$—$1^1/_2$) = 6 хомутиков и что, наконец, между выводом $A_3$ и началом ближайшей фазы имеются $\frac{\text{число катушек}}{3}$ — $4 \times$ ППФ = $\frac{180}{3}$ — —$4 \times 7^1/_2 = 30$ хомутиков. Рис. 16-118 показывает всю сторону выводов; рис. 6-119 показывает ту же сторону, только вблизи выводов одной фазы; здесь на один слой паза приходятся 2 катушечные стороны.

**6-7. Включения фаз в звезду и треугольник при последовательном соединении их катушек.** На рис. 6-5, 6-6, 6-9 и 6-10, так же как на рабочих схемах, при соединении обеих частей каждой фазы поворотным соединением все катушки каждой фазы оказываются соединенными последовательно. На этих схемах включение фаз в звезду при последовательном соединении их катушек может быть получено соединением концов 3 фаз ($A_4$, $B_4$, $C_4$) в нулевую точку (рис. 6-120). Начала фаз ($A_1$, $B_1$, $C_1$) присоединяются или к контактным кольцам, или к сети. Включение фаз в треугольник при последовательном соединении их катушек (рис. 6-121) может быть получено соединением конца фазы $A$ ($A_4$) с началом фазы $B$ ($B_1$), конца фазы $B$ ($B_4$) с началом фазы $C$ ($C_1$) и конца фазы $C$ ($C_4$) с началом фазы $A$ ($A_1$) или конца фазы $A$ ($A_4$) с началом фазы $C(C_1)$, конца фазы $C(C_4)$ с началом фазы $B(B_1)$ и конца фазы $B$ ($B_4$) с началом фазы $A$ ($A_1$); при этом выбираются наиболее короткие соединения между фазами. Вершины треугольника присоединяются или к контактным кольцам, или к сети.

Оба включения фаз—звездой и треугольником при последовательном соединении их катушек — указаны в табл. 6-42.

**6-8. Включения в 2 параллельные звезды и в 2 параллельных треугольника.** Включения в 2 параллельные звезды и 2 параллельных треугольника могут быть легко получены размыканием поворотных соединений и параллельным соединением обеих частей каждой фазы. Рис. 6-122 показывает включение в 2 параллельные звезды. Начала каждых 2 частей, $A_1$ и $A_3$, $B_1$ и $B_3$, $C_1$ и $C_3$, соответственно соединяются между собой, также соединяются между собой концы каждых 2 частей, $A_2$ и $A_4$,

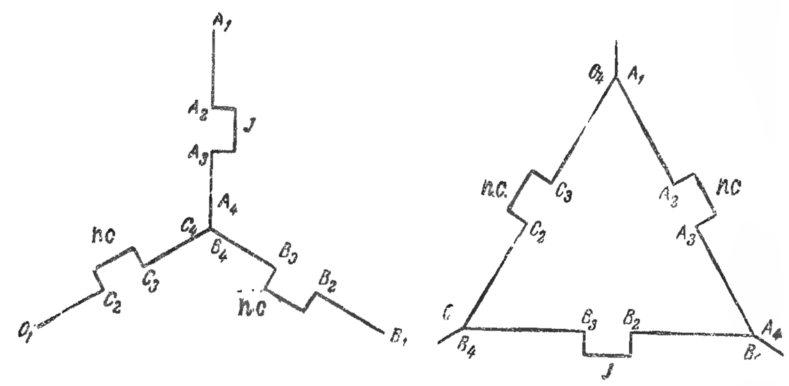



Рис. 6-120. Схема соединений в звезду при последовательном соединении частей обмотки.

Рис. 6-121. Схема соединений в треугольник при последовательном соединении частей обмотки.

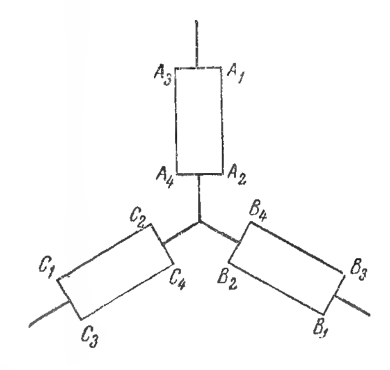



Рис. 6-122. Схема соединений в 2 параллельные звезды для ППФ, равного целому числу.

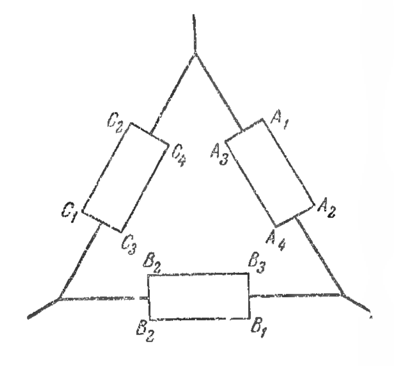



Рис. 6-123. Схема соединений в 2 параллельных треугольника для ППФ, равного целому числу.

$B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$. Концы $A_2 \rightarrow A_4$, $B_2 \rightarrow B_4$, $C_2 \rightarrow C_4$ соединяются в нулевую точку, тогда как начала $A_1 \rightarrow A_3$, $B_1 \rightarrow B_3$ $C_1 \rightarrow C_3$ присоединяются или к контактным кольцам, или к сети.

Рис. 6-123 показывает включение в 2 параллельных треугольника. Две части каждой фазы соединяются между собой, как и при включении в 2 параллельные звезды. Затем концы $A_2 \rightarrow A_4$ фазы $A$ соединяются с началами $B_1 \rightarrow B_3$ фазы $B$, концы $B_2 \rightarrow B_4$ фазы $B$—с началами $C_1 \rightarrow C_3$ фазы $C$ и, наконец, концы $C_2 \rightarrow C_4$ фазы $C$—с началами $A_1 \rightarrow A_3$ фазы $A$. Вершины треугольника присоединяются или к контактным кольцам, или к сети. Оба включения— в параллельные звезды и параллельные треугольники — указаны в табл. 6-42.

Отметим, что параллельное соединение 2 частей каждой фазы размыканием поворотного соединения допустимо только при ППФ, равном целому числу. При ППФ = (целому числу + $+1/2$) обе части каждой фазы имеют различные числа рядов катушек (см., например, рис. 6-9) и, следовательно, не могут быть соединены параллельно. Параллельные соединения для обмоток при ППФ = (целому числу + $1/2$) рассматриваются в § 6-10.

**6-9. Обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу и числом параллельных ветвей, бóльшим 2.** Если ППФ — целое число, то максимальное возможное число параллельных ветвей равно числу полюсов, так же как и в случае петлевой обмотки. При выборе какого-либо другого числа параллельных ветвей необходимо, чтобы число полюсов было кратно этому числу.

В § 6-8 указывалось, что в случае ППФ, равного целому числу, можно получить 2 параллельные ветви, соединив параллельно обе части каждой фазы (рис. 6-122 и 6-123). Следовательно, если выбирается число параллельных ветвей, большее 2, то каждая часть должна быть разделена на параллельные ветви. Максимальное возможное число параллельных ветвей в каждой части равно $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$. Если $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ больше и кратно выбранному числу параллельных ветвей, то все параллельные ветви могут быть получены в каждой части и обе части соединены последовательно. Если $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ не кратно выбранному числу параллельных ветвей, то обе части должны быть соединены параллельно и каждая часть может иметь только половину выбранного числа параллельных ветвей. Например, если требуется иметь в 20-полюсной обмотке 10 параллельных ветвей, то каждая часть должна быть разделена на 10 параллельных ветвей и обе части соединены последовательно или каждая часть должна быть разделена на 5 параллельных ветвей и обе части соединены параллельно. Если выбираются 4 параллельные ветви, то они могут быть получены только разделением каждой части на 2 параллельные ветви и параллельным соединением обеих частей. С другой стороны, если выбираются 5 параллельных ветвей, то они могут быть получены только разделением на 5 параллельных ветвей каждой части и последовательным соединением обеих частей. Если требуется получить максимальное возможное число параллельных ветвей, равное числу полюсов (20 в указанном примере), то каждая часть должна быть распределена на $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ параллельных ветвей и обе части должны быть соединены параллельно. Для одного и того же выбранного числа параллельных ветвей можно во многих случаях получить различные распределения. Следует использовать распределения, которые дают наименьшее число соединений (перемычек). Это будет пояснено при рассмотрении примеров.

Для того чтобы найти проводники, которые принадлежат каждой параллельной ветви в каждой части фазы, может быть использован следующий порядок действий применительно к фазе $A$:

а) Используем таблицу распределения проводников и выпишем, начиная с начального верхнего проводника фазы, верхние проводники, лежащие под всеми полюсами той же полярности, что и полярность полюса над начальным проводником. Например, для фазы $A$ начнем с верхнего проводника *1* и выпишем все верхние проводники, лежащие под нечетными полюсами, так как фаза начинается под полюсом *1*. Проводники должны быть выписаны в $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ горизонтальных рядов по ППФ проводников в каждом ряду.

б) Начнем первую параллельную ветвь первой части фазы с проводника, с которого начинается фаза. Для фазы $A$— это верхний проводник *1*.

в) Разделим $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ на выбранное число параллельных ветвей части. Частное, которое должно быть целым числом, определяет число проводников в каждом столбце, соединяемых последовательно.

г) Прибавим к начальному проводнику число (2× ×задний шаг) и найдем полученное число в том же самом столбце, но во втором горизонтальном ряду. К этому числу снова прибавим (2×задний шаг) и найдем полученное новое число в том же самом столбце, но в третьем горизонтальном ряду. Повторяем указанные действия, пока число проводников в начальном столбце не будет равно частному, определенному в п. «в». Если частное равно 1, то это число проводников снижается до 1, а именно до начального проводника.

д) Прибавим к последнему проводнику, определенному в п. «г», (2×задний шаг+1) и найдем полученное число в другом столбце, не содержащем начального проводника, и в другом горизонтальном ряду. Прибавим к этому проводнику (2 × задний шаг) и найдем полученное число в том же самом столбце. Далее будем прибавлять (2× ×задний шаг) столько же раз, сколько и ранее, и затем прибавим (2× задний шаг + 1), чтобы найти проводник в ближайшем столбце. Продолжим эти действия, пока не найдем определенное в п. «в» частное × ППФ проводников. Эти проводники принадлежат первой параллельной ветви первой части. Если частное равно 1, то этой части принадлежит в каждом столбце только 1 проводник.

е) Начнем вторую параллельную ветвь с первого проводника (частное+1)-го горизонтального ряда, третью параллельную ветвь — с (2×частное+1)-го горизонтального ряда и т. д. и определим для каждой ветви частное×ППФ проводников.

ж) Повторим для второй части фазы тот же самый порядок действий, что и для первой части, используя верхние проводники, не входящие в первую часть.

Поясним применение метода на нескольких примерах.

Пример 1. 4-полюсная обмотка с 36 пазами, т. е. ППФ = 3, и 4 параллельными ветвями.

Здесь обе части каждой фазы должны быть соединены параллельно и каждая часть должна состоять из 2 параллельных ветвей. Из таблицы распределения проводников 6-30 следует, что первая часть фазы $A$ состоит из следующих верхних проводников под первым и третьим полюсами:

| Полюс № 1 | Полюс № 3 |
|---|---|
| *1 2 3* | *19 20 21* |



Распределим их в $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right) = \frac{4}{2} = 2$ горизонтальных ряда с ППФ = 3 проводниками в каждом ряду:

| | | | |
|---|---|---|---|
| полюс 1 | (1) | △2 | (3) |
| полюс 3 | △19 | (20) | △21 |

Так как частное $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ и числа параллельных ветвей в части равно 1, то только один проводник каждого столбца принадлежит каждой части.

Верхние проводники, принадлежащие 2 параллельным ветвям первой части, отмечены соответственно кружками и треугольниками.

Задний шаг равен 3 × 3=9 пазовым делениям; (2 × задний шаг+ + 1) = 2 × 9 + 1 = 19. Начальный проводник — *1*. Следовательно, первая параллельная ветвь состоит из верхних проводников:

$$1,\ 1 + 19 = 20,\ \ 20 + 19 - 36 = 39 - 36 = 3.$$

Нижние проводники, принадлежащие первой параллельной ветви, автоматически определяются при помощи заднего шага; для обмотки с левыми катушками и обходами по часовой стрелке верхний *1* соединяется с нижним 1+9=*10*, нижний *10* — с верхним *20*, верхний *20* — с нижним 20+9=*29* и нижний *29* — с верхним *3*, который соединяется с нижним 3+9=*12*. Параллельная ветвь получается при обходе по часовой стрелке ППФ=3 катушек, и этим заканчивается первая ветвь первой части. Начальный проводник второй ветви первой части — *19*, а верхние проводники, принадлежащие этой ветви,— *19*, 19+ +19 — 36=*38* — 36=*2*, 2+19=*21*. Снова получается ветвь при обходе по часовой стрелке ППФ=3 катушек:
верхний *19* → нижний *28* → верхний *2* → нижний *11* → верхний *21* → нижний *30*.

На рис. 6-124 показана фаза $A$ этой обмотки. $A_1$ и $A_2$ — начало и конец первой параллельной ветви первой части; $A_3$ и $A_4$ — начало и конец второй параллельной ветви той же части. Начала $A_1$ и $A_3$ — верхние проводники. Оставшиеся верхние проводники фазы $A$ принадлежат второй части этой фазы:

*10 — 11 — 12* и *28 — 29 — 30*.

Они лежат под четными полюсами и должны быть снова распределены в 2 горизонтальных ряда с 3 проводниками в каждом ряду:

| | | | |
|---|---|---|---|
| полюс 2 | (10) | △11 | (12) |
| полюс 4 | △28 | (29) | △30 |

Первая параллельная ветвь второй части, отмеченная кружками, начинается с верхнего проводника *10* и состоит из верхних проводников

$$10,\ 10 + 19 = 29,\ 29 + 19 - 36 = 48 - 36 = 12.$$

Ветвь получается при обходе по часовой стрелке ППФ = 3 катушек: верхний *10* → нижний *19* → верхний *29* → нижний *2* → верхний *12* → нижний *21*.

Они образуют первую ветвь второй части.

Вторая параллельная ветвь, отмеченная треугольниками, начинается с верхнего проводника *28*. Она состоит из верхних проводников

$$28, \; 28+19-36=47-36=11, \; 11+19=30$$

и получается при обходе 3 катушек: верхний *28* → нижний *1* → верхний *11* → нижний *20* → верхний *30* → нижний *3*.

Они образуют вторую ветвь второй части. Соответствующие нижние проводники определялись при помощи заднего шага. Каждая ветвь получается при обходе по часовой стрелке ППФ=3 катушек (рис. 6-124). Соединив все ветви параллельно, получим обмотку с 4 параллельными ветвями.

Пример 2. 8-полюсная обмотка с 72 пазами и 8 или 4 параллельными ветвями.

При 8 полюсах и 72 пазах ППФ=3 и задний шаг равен 9 пазовым делениям. Из таблицы распределения проводников 6-30 имеем, что первая часть фазы *А* состоит из следующих верхних проводников под нечетными полюсами:

(таблица А)

| | | | |
|---|---|---|---|
| полюс 1 | 1 | 2 | 3 |
| полюс 3 | 19 | 20 | 21 |
| полюс 4 | 37 | 38 | 39 |
| полюс 7 | 55 | 56 | 57 |

а) 8 параллельных ветвей. При 8 параллельных ветвях частное $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ и числа параллельных ветвей в части равно 1. Следовательно, только 1 проводник в каждом столбце принадлежит каждой ветви.

Первая параллельная ветвь начинается с верхнего проводника *1* и состоит из верхних проводников

$$1, \; 1+(2\times\text{задний шаг}+1)=1+19=20, \; 20+19=39.$$

Вторая ветвь начинается с верхнего проводника *19* и состоит из верхних проводников

$$19, \; 19+19=38, \; 38+19=57.$$

Третья ветвь начинается с верхнего проводника *37* и состоит из верхних проводников

$$37, \; 37+19=56, \; 56+19-72=75-72=3.$$

Четвертая ветвь начинается с верхнего проводника *55* и состоит из верхних проводников

$$55, \; 55+19-72=74-72=2, \; 2+19=21.$$



Нижние проводники определяются при помощи заднего шага, равного 9. Таким образом, нижние проводники первой ветви:

$$1+9=10, \; 20+9=29, \; 39+9=48.$$

Каждая параллельная ветвь получается при обходе по часовой стрелке только 3 катушек, так как ППФ=3.

Оставшиеся верхние проводники фазы *А*, т. е. те, которые лежат под четными полюсами, принадлежат второй части этой фазы. Проводники, принадлежащие каждой из 4 параллельных ветвей, могут быть определены тем же способом, что и для первой части.

Если требуется иметь 8 параллельных ветвей, то 4 параллельные ветви первой части нужно соединить параллельно с 4 параллельными ветвями второй части.

б) 4 параллельные ветви. Если требуются только 4 параллельные ветви, то надо или 4 параллельные ветви одной части соединить последовательно с 4 параллельными ветвями второй части, или 4 параллельные ветви каждой части соединить последовательно в пары и пары одной части соединить параллельно с парами другой части, или каждую из 4 параллельных ветвей первой части соединить последовательно с одной из 4 параллельных ветвей второй части. Обозначив полярности начал и концов ветвей, можем найти наилучший способ их последовательного или параллельного соединения (см. рис. 6-124).

Однако число перемычек (соединений) на фазу уменьшается, если 4 параллельные ветви получают, сделав 2 параллельные ветви в каждой части и соединив 2 части параллельно, как показано ниже. В этом случае 2 проводника, находящиеся в одном и том же столбце, соединяются последовательно и каждая параллельная ветвь каждой части обходит 2×ППФ катушек, что показано в табл. В.

(Таблица В)

| | | | |
|---|---|---|---|
| полюс 1 | 1 | 2 | 3 |
| полюс 3 | 19 | 20 | 21 |
| полюс 5 | 37 | 38 | 39 |
| полюс 7 | 55 | 56 | 57 |

Первая параллельная ветвь начинается с верхнего проводника *1* и состоит из верхних проводников:

$$1, \; 1+2\times\text{задний шаг}=1+18=19,$$
$$19+(2\times\text{задний шаг}+1)=19+19=38,$$
$$38+(2\times\text{задний шаг})=38+18=56,$$
$$56+19=75-72=3, \; 3+18=21.$$

Вторая параллельная ветвь начинается с верхнего проводника *37* и состоит из верхних проводников

*37, 55, 2, 20, 39* и *57*.

Каждая параллельная ветвь получается при обходе 2×ППФ=6 катушек. Оставшиеся верхние проводники фазы *А*, т. е. те, которые лежат под четными полюсами, принадлежат второй части этой фазы и должны быть распределены в 2 параллельные ветви так же, как это

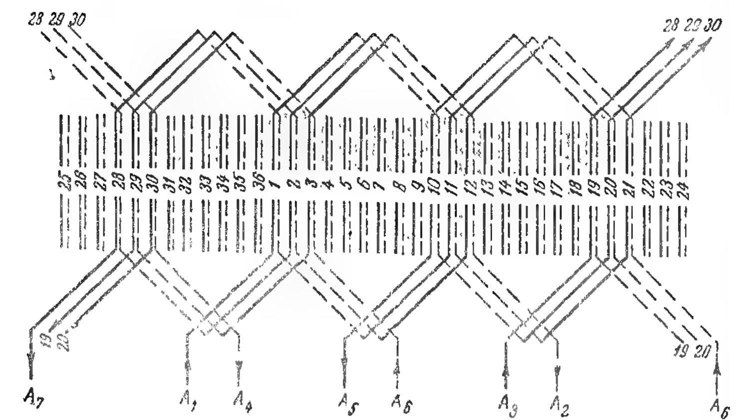



Рис. 6-124. Обмотка при 36 пазах, 4 полюсах, 4 параллельных ветвях, ППФ, равном целому числу (показана только фаза $A$).
Соединить $A_1 - A_3 - A_6 - A_8$ между собой
и $A_2 - A_4 - A_5 - A_7$ между собой.

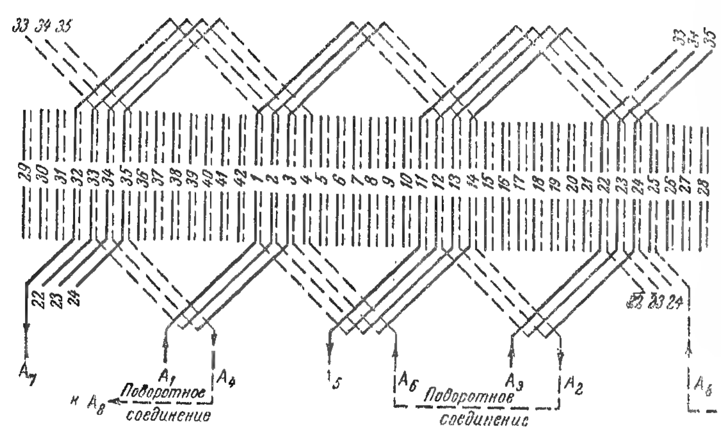



Рис. 6-125. Обмотка при 42 пазах, 4 полюсах, 2 параллельных ветвях, ППФ, равном целому числу $+ ^1/_2$ (показана только фаза $A$). Соединить $A_1 - A_3$ между собой и $A_5 - A_7$ между собой.



было сделано для нечетных полюсов. После этого 2 параллельные ветви первой части соединяются параллельно с 2 параллельными ветвями второй части; таким образом, получаются 4 параллельные ветви.

Пример 3. 20-полюсная обмотка с 300 пазами и 20, 10, 5 или 4 параллельными ветвями.

Для этой обмотки ППФ=5 и задний шаг равен 15 пазовым делениям.

а) 20 параллельных ветвей. Частное $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ и числа параллельных ветвей в части равно 1. Следовательно, только 1 проводник каждого столбца принадлежит каждой ветви. Каждая часть имеет 10 параллельных ветвей, и 2 части соединяются параллельно. Первая часть фазы $A$ состоит из следующих верхних проводников под нечетными полюсами:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| полюс 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| полюс 3 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| полюс 5 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 |
| полюс 7 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 |
| полюс 9 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 (Таблица А) |
| полюс 11 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 |
| полюс 13 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 |
| полюс 15 | 211 | 212 | 213 | 214 | 215 |
| полюс 17 | 241 | 242 | 243 | 244 | 245 |
| полюс 19 | 271 | 272 | 273 | 274 | 275 |

Первая параллельная ветвь начинается с верхнего проводника *1* и состоит из верхних проводников

$$1,\ 1 + (2 \times \text{задний шаг} + 1) = 1 + 31 = 32,$$

$$32 + 31 = 63,\ 63 + 31 = 94,\ 94 + 31 = 125.$$

Ветвь отмечена кружками. Другие 9 ветвей в части начинаются соответственно с верхних проводников *31*, *61*, *91*, *121*, *151*, *181*, *211*, *241* и *271*, а далее следуют проводники, которые получаются путем прибавления к каждому предыдущему проводнику ($2 \times$ задний шаг $+ 1$).

Проводники, принадлежащие каждой из 10 параллельных ветвей второй части, могут быть определены так же, как для первой части.

б) 10 параллельных ветвей. Имеются две возможности для получения 10 параллельных ветвей в обмотке. Можно или разделить каждую часть на 10 параллельных ветвей и обе части соединить последовательно, или разделить каждую часть на 5 параллельных частей и обе части соединить параллельно.

Если применяется первый метод, то выполняются те же действия, что и в п. «а», затем обе части соединяются последовательно. Если

применяется второй метод, то каждая часть делится на 5 параллельных ветвей, как показано в табл. В. Верхние проводники под нечетными полюсами:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| полюс 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| полюс 3 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| полюс 5 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 |
| полюс 7 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 |
| полюс 9 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 |
| полюс 11 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 |
| полюс 13 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 |
| полюс 15 | 211 | 212 | 213 | 214 | 215 |
| полюс 17 | 241 | 242 | 243 | 244 | 245 |
| полюс 19 | 271 | 272 | 273 | 274 | 275 |

(таблица В)

$\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$, поделенное на выбранное число (5) параллельных ветвей, равно 2. Следовательно, в соответствии с ранее приведенными правилами каждой ветви будут принадлежать в каждом столбце 2 проводника и на параллельную ветвь будет приходиться 2×ППФ (2×5=10) проводников. Первая параллельная ветвь первой части начинается с верхнего проводника *1* и состоит из верхних проводников:

$$\mathit{1},\ 1+(2\times\text{задний шаг})=1+30=\mathit{31},$$
$$31+(2\times\text{задний шаг}+1)=31+31=\mathit{62},$$
$$62+30=\mathit{92},\ 92+31=\mathit{123},$$
$$123+30=\mathit{153},\ 153+31=\mathit{184},\ 184+30=\mathit{214},$$
$$214+31=\mathit{245},\ 245+30=\mathit{275}.$$

Ветвь отмечена кружками.

Вторая параллельная ветвь второй части начинается в горизонтальном ряду $1+2=3$ с верхнего проводника *61*. Ветвь отмечена прямоугольниками. Аналогичным образом находим, что остальные три ветви части начинаются соответственно с верхних проводников *121*, *181* и *241*. Проводники, принадлежащие каждой из 5 параллельных ветвей второй части, могут быть определены так же, как и для первой части.

в) 5 параллельных ветвей. Для получения 5 параллельных ветвей в обмотке каждая часть должна быть разделена на 5 параллельных ветвей и обе части должны быть соединены последовательно. Порядок действий здесь точно такой же, как и указанный в таблице В.

г) 4 параллельные ветви. В данном случае 4 параллельные ветви в обмотке можно получить, только разделив каждую часть на 2 параллельные ветви и соединив обе части параллельно. [Часть не может быть соединена в 4 параллельные ветви, так как $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)=10$ не делится на 4]. При этом $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)\frac{1}{2}=\frac{20}{2\times 2}=5$. Таким образом, число проводников в одном и том же столбце, соединенных последовательно, равно 5 и число проводников на параллельную ветвь равно $5\times5=25$. Верхние проводники под нечетными полюсами указаны в таблице С.



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| полюс 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| полюс 3 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| полюс 5 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 |
| полюс 7 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 |
| полюс 9 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 |
| полюс 11 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 |
| полюс 13 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 |
| полюс 15 | 211 | 212 | 213 | 214 | 215 |
| полюс 17 | 241 | 242 | 243 | 244 | 245 |
| полюс 19 | 271 | 272 | 273 | 274 | 275 |

(таблица С)

Первая ветвь первой части начинается с верхнего проводника *1* и состоит из верхних проводников

$$\mathit{1},\ 1+(2\times\text{задний шаг})=1+30=\mathit{31},$$
$$31+30=\mathit{61},\ 61+30=\mathit{91},\ 91+30=\mathit{121},$$
$$121+(2\times\text{задний шаг}+1)=121+31=\mathit{152},$$
$$152+30=\mathit{182}\ \text{и т. д.}$$

Ветвь состоит из 25 проводников. Вторая параллельная ветвь начинается с верхнего проводника *151* в шестом $(1+5)$ горизонтальном ряду.

Проводники, принадлежащие каждой параллельной ветви второй части, могут быть определены так же, как для первой части.

**6-10. Обмотки с (целым числом +1/2) пазов на полюс и фазу и с двумя или более параллельными ветвями.** Предварительно было указано (см. § 6-8), что обе части волновой обмотки при ППФ=(целому числу+1/2) не могут быть соединены параллельно, так как они имеют различные числа катушек. Параллельные ветви могут быть получены только отдельно в каждой части. Обе части должны иметь одно и то же

число параллельных ветвей и параллельные ветви одной части должны быть соединены последовательно с параллельными ветвями другой части. Следовательно, максимальное возможное число параллельных ветвей — $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$.

В отношении обеих частей здесь можно применить те же самые рассуждения, что и в случае обмоток с ППФ, равным целому числу (см. § 6-9). Однако здесь нужно прибавлять (2 × задний шаг), а не (2 × задний шаг + 1), как указывалось в пп. „г" и „д" для случая, когда частное $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ и числа параллельных ветвей в части равно 1, и соответственно пп. „г" и „д" использовать (2 × задний шаг — 1) вместо (2 × задний шаг) и (2 × задний шаг) вместо (2 × задний шаг + 1), если частное отличается от 1. Оба случая поясним на примерах.

Пример 1. 4-полюсная обмотка с 42 пазами и 2 параллельными ветвями; ППФ $= 3^1/_2$ и задний шаг равен 11 пазовым делениям.

Так как частное $\left(\frac{\text{числа полюсов}}{2}\right)$ и числа параллельных ветвей в части равно 1, то только 1 проводник в каждом столбце принадлежит каждой ветви. Из рис. 6-10 или таблицы распределения проводников 6-31 получаем, что первая часть фазы *A* состоит из следующих верхних проводников под первым и третьим полюсами:

| | | | |
|---|---|---|---|
| полюс 1 | 1 | 2 | 3 |
| полюс 3 | 22 | 23 | 24 |

т. е. первая ветвь первой части состоит из следующих верхних проводников:

*1*, 1 + (2 × 11) = *23*, 23 + 22 — 42 = 45 — 42 = *3*

и катушек

верхний *1* → нижний *12* → верхний *23* → нижний *34* → верхний *3* → нижний *14*.

Вторая ветвь имеет следующие верхние проводники:

*22*, 22 + 22 — 42 = 44 — 42 = *2*, 2 + 22 = 24

и катушки

верхний *22* → нижний *33* → верхний *2* → нижний *13* → верхний *24* → нижний *35*.



Вторая часть фазы *A* состоит из следующих верхних проводников под вторым и четвертым полюсами:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| полюс 2 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| полюс 4 | 32 | 33 | 34 | 35 |

т. е. первая ветвь второй части состоит из следующих верхних проводников:

*11*, 11 + 22 = *33*, 33 + 22 — 42 = 55 — 42 = *13*, 13 + 22 = *35*

и катушек

верхний *11* → нижний *22* → верхний *33* → нижний *2* → верхний *13* → нижний *24* → верхний *35* → нижний *4*.

Вторая ветвь имеет следующие верхние проводники:

*32*, 32 + 22 — 42 = 54 — 42 = *12*, 12 + 22 = *34*,
34 + 22 — 42 = 56 — 42 = *14*

и катушки

верхний *32* → нижний *1* → верхний *12* → нижний *23* → верхний *34* → нижний *3* → верхний *14* → нижний *25*.

Каждая ветвь первой части должна быть соединена последовательно поворотным соединением с одной ветвью второй части, т. е. нижний *14* должен быть соединен с нижним *4* и нижний *35* должен быть соединен с нижним *25*. Рис. 6-125 показывает фазу *A* этой обмотки. Параллельные ветви первой части обходят 3 катушки каждая; параллельные ветви второй части обходят 4 катушки каждая. Два поворотных соединения соединяют ветви первой части с ветвями второй части.

Пример 2. 20-полюсная обмотка с 330 пазами и 5 параллельными ветвями; ППФ $= 5^1/_2$ и задний шаг равен 17 пазовым делениям.

Для фазы *A* получаем следующее распределение верхних проводников под нечетными полюсами:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| полюс 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| полюс 3 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | |
| полюс 5 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | |
| полюс 7 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | |
| полюс 9 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | (таблица A) |
| полюс 11 | 166 | 167 | 168 | 169 | 170 | |
| полюс 13 | 199 | 200 | 201 | 202 | 203 | |
| полюс 15 | 232 | 233 | 234 | 235 | 236 | |
| полюс 17 | 265 | 266 | 267 | 268 | 269 | |
| полюс 19 | 298 | 299 | 300 | 301 | 302 | |

Так как частное $\left(\frac{\text{число полюсов}}{2}\right)$ и 5 равно 2, то 2 проводника в каждом столбце принадлежат каждой ветви.

Первая ветвь первой части состоит из верхних проводников

$$1,\ 1 + (2 \times \text{задний шаг} - 1) = 1 + (2 \times 17 - 1) = 34,$$

$$34 + (2 \times \text{задний шаг}) = 68,$$

$$68 + 33 = 101,\quad 101 + 34 = 135 \text{ и т. д.}$$

Вторая ветвь состоит из верхних проводников

*67, 100, 134, 167, 201, 234, 268, 301, 5, 38.*

Третья ветвь начинается с верхнего проводника *133*, четвертая ветвь — с верхнего проводника *199* и пятая ветвь — с верхнего проводника *265*.

Вторая часть фазы *А* состоит из следующих верхних проводников под четными полюсами:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| полюс 2 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| полюс 4 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
| полюс 6 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 |
| полюс 8 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 |
| полюс 10 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 |
| полюс 12 | 182 | 183 | 184 | 185 | 186 | 187 |
| полюс 14 | 215 | 216 | 217 | 218 | 219 | 220 |
| полюс 16 | 248 | 249 | 250 | 251 | 252 | 253 |
| полюс 18 | 281 | 282 | 283 | 284 | 285 | 286 |
| полюс 20 | 314 | 315 | 316 | 317 | 318 | 319 |

(таблица Е)

Первая ветвь второй части состоит из верхних проводников *17*, 17+ +33=*50*, 50+34=*84*, 84+33=*117* и т. д.

Остальные четыре ветви начинаются соответственно с верхних проводников

*83*, *149*, *215* и *281*.

5 параллельных ветвей первой части могут быть соединены кольцом с 5 параллельными ветвями второй части или первую параллельную ветвь можно соединить поворотным соединением с первой параллельной ветвью второй части и т. д. Пять поворотных соединений соединят тогда 5 ветвей первой части с 5 ветвями второй части. Параллельные ветви первой части обходят 10 катушек каждая; параллельные ветви второй части обходят 12 катушек каждая.



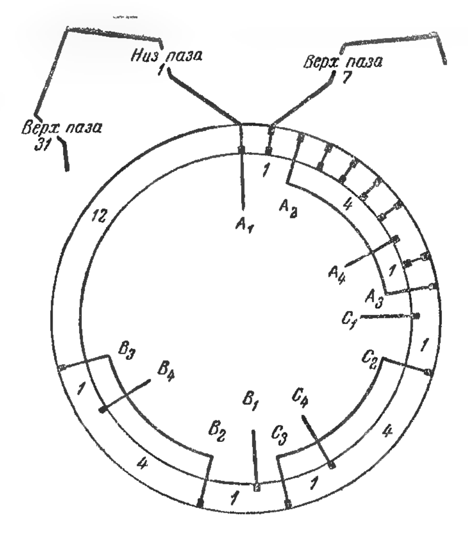



Рис. 6-17. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 36 пазов, 6 полюсов, ППФ = 2.

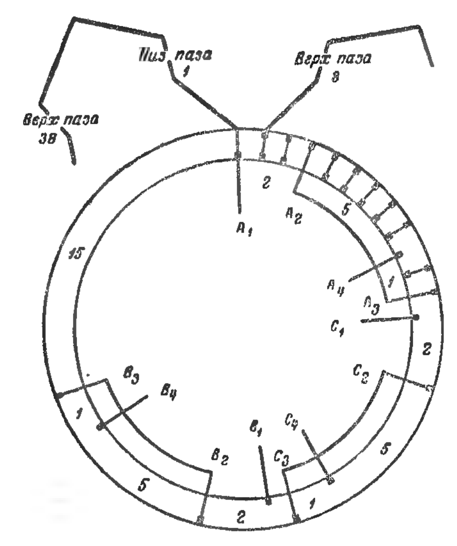



Рис. 6-18. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 45 пазов, 6 полюсов, ППФ = $2^1/_2$.

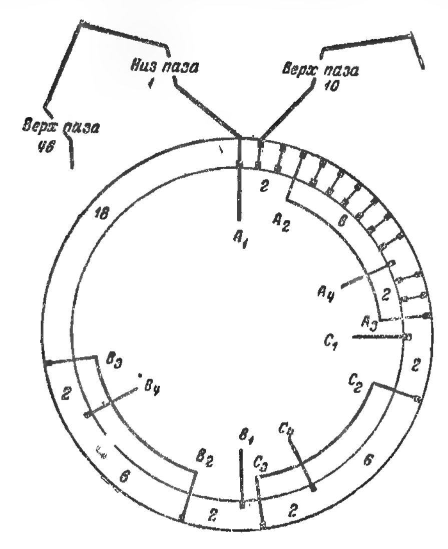



Рис. 6-19. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 54 пазов, 6 полюсов, ППФ = 3.

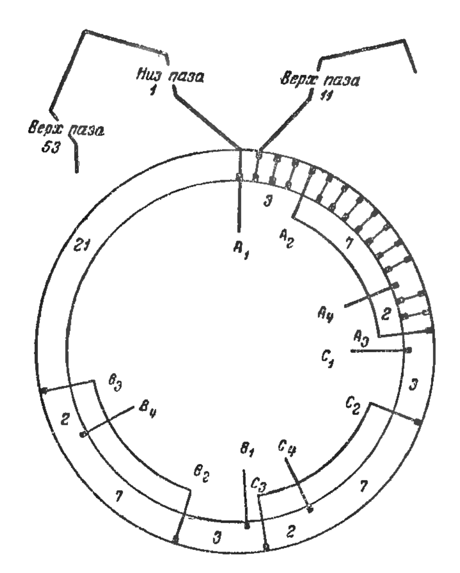



Рис. 6-20. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 63 пазов, 6 полюсов, ППФ = $3^1/_2$.



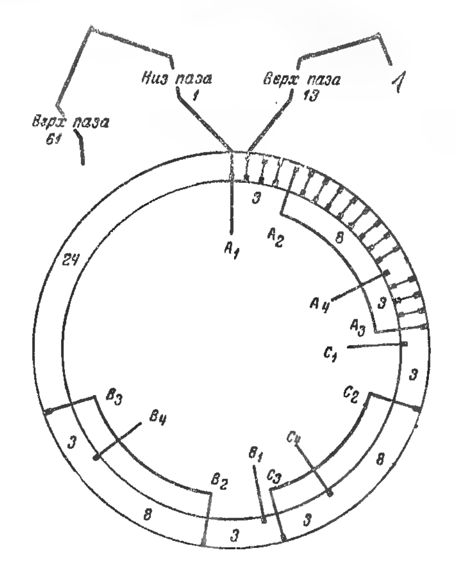



Рис. 6-21. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 72 пазов, 6 полюсов, ППФ = 4.

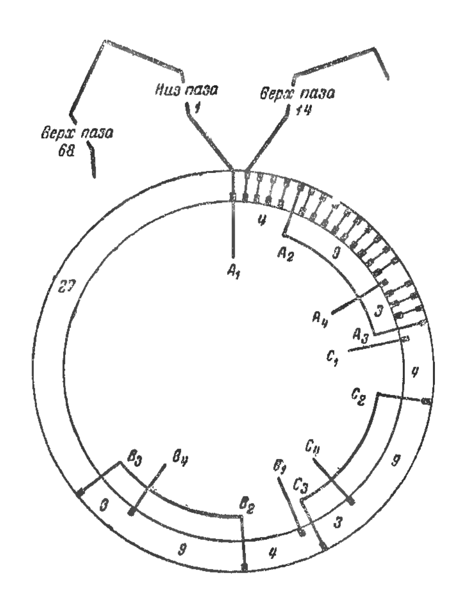



Рис. 6-22. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 81 паза, 6 полюсов, ППФ = $4^1/_2$.

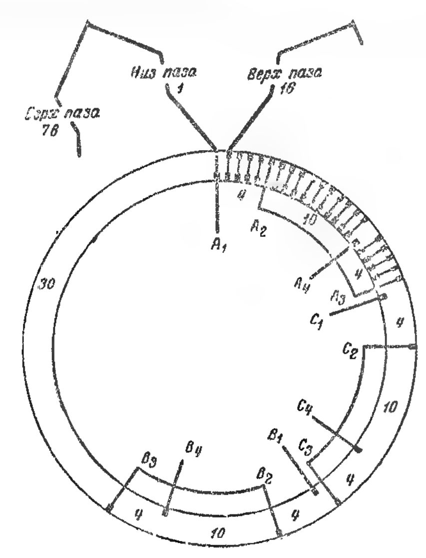



Рис. 6-23. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 90 пазов, 6 полюсов, ППФ = 5.

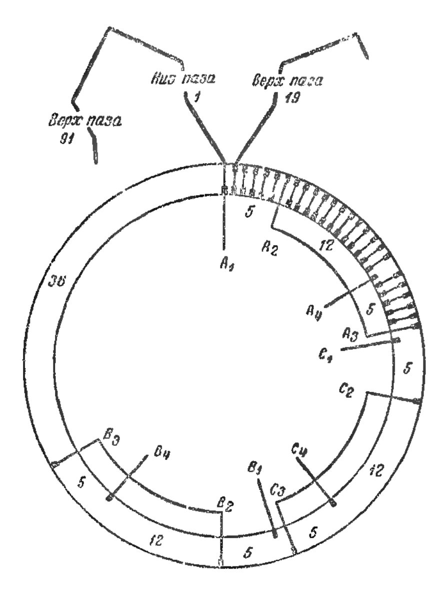



Рис. 6-24. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 108 пазов, 6 полюсов, ППФ = 6.



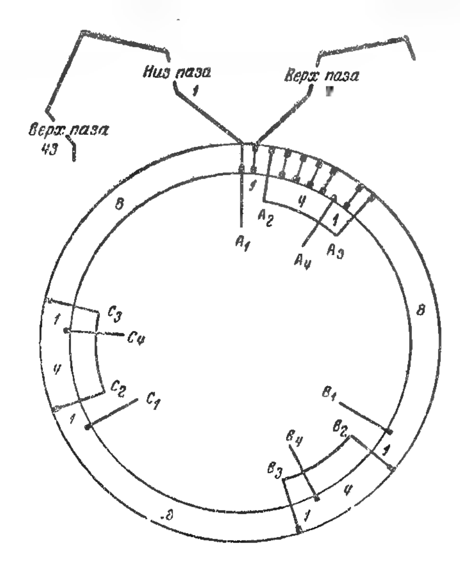



Рис. 6-25. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 48 пазов, 8 полюсов, ППФ = 2.

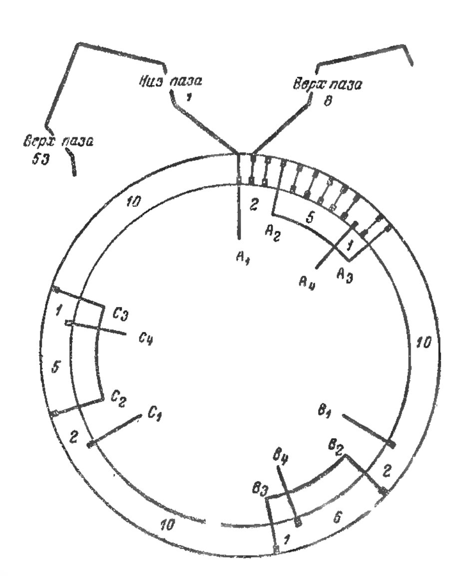



Рис. 6-26. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 60 пазов, 8 полюсов, ППФ = $2^1/_2$.

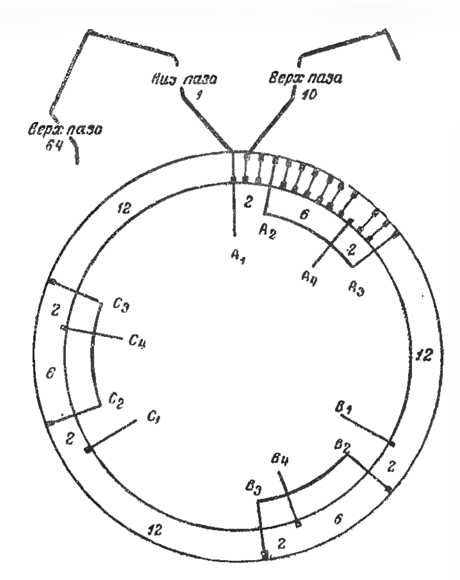



Рис. 6-27. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 72 пазов, 8 полюсов, ППФ = 3.

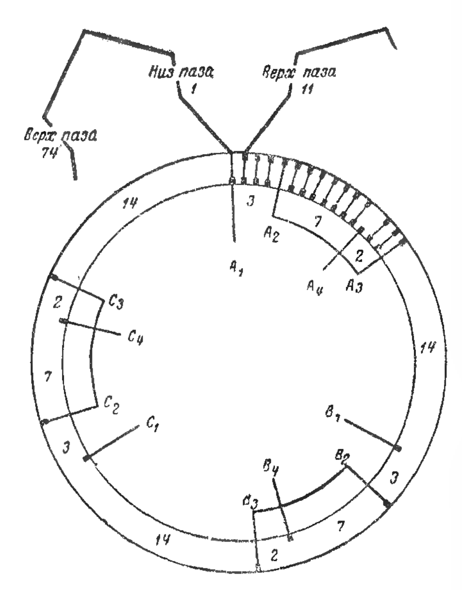



Рис. 6-28. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 84 пазов, 8 полюсов, ППФ = $3^1/_2$.



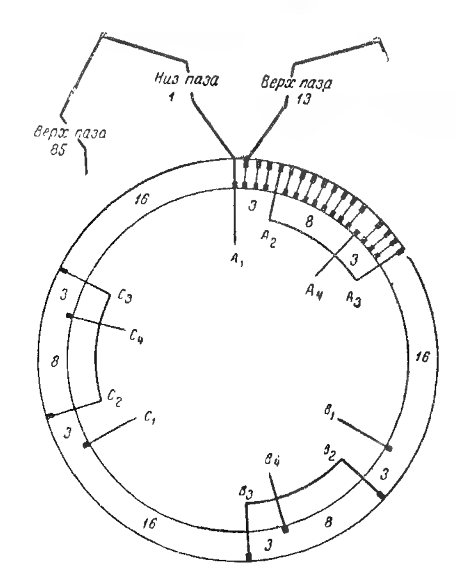



Рис. 6-29. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 96 пазов, 8 полюсов, ППФ = 4.

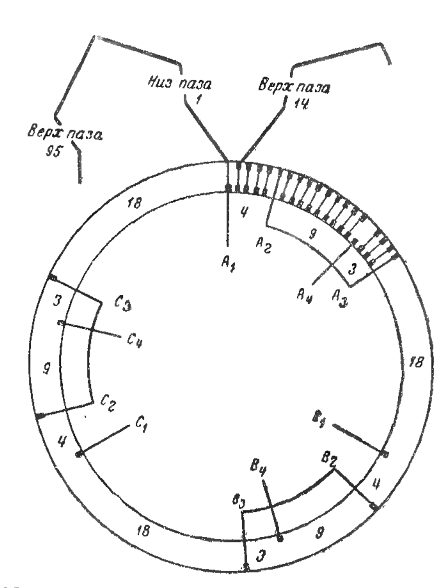



Рис. 6-30. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 107 пазов, 8 полюсов, ППФ = $4^1/_2$.

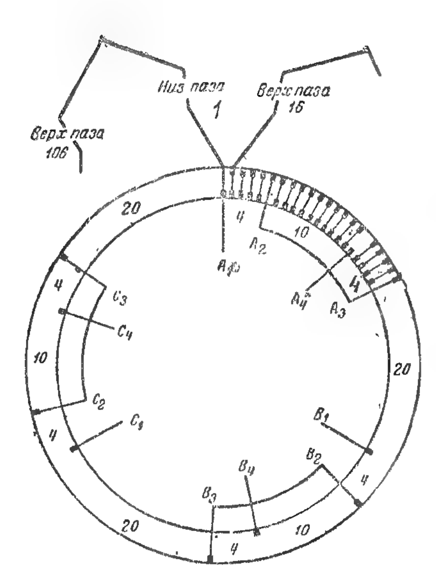



Рис. 6-31. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 120 пазов, 8 полюсов, ППФ = 5.

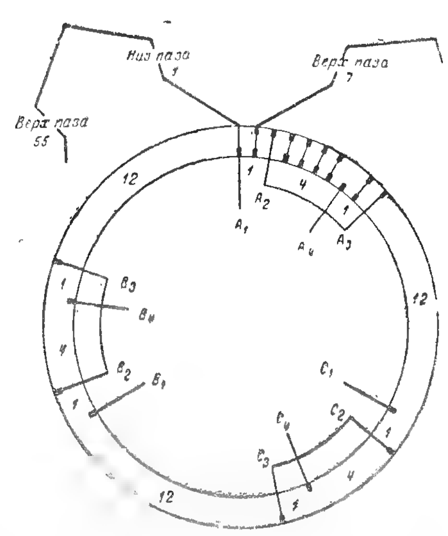



Рис. 6-32. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 60 пазов, 10 полюсов, ППФ = 2.



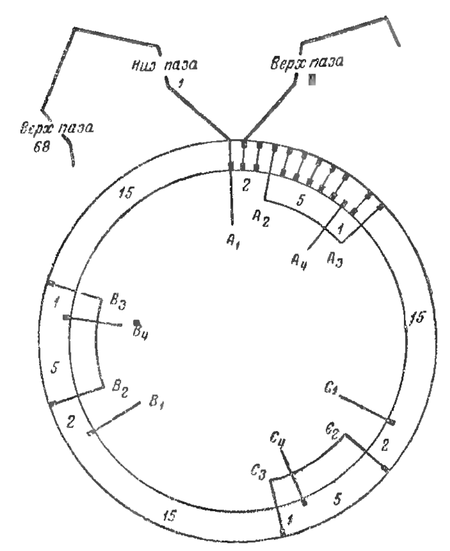



Рис. 6-33. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 75 пазов, 10 полюсов, ППФ = $2^1/_2$.

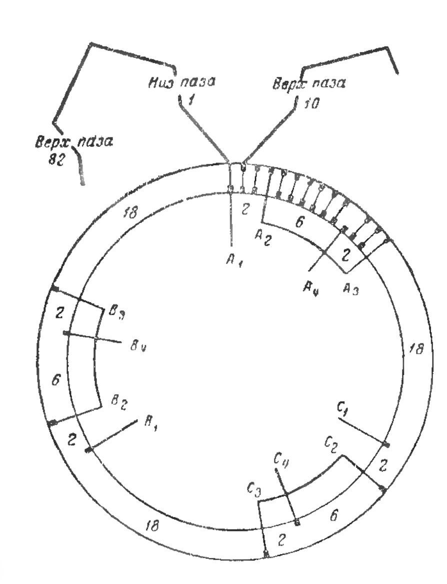



Рис. 6-34. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 90 пазов, 10 полюсов, ППФ = 3.

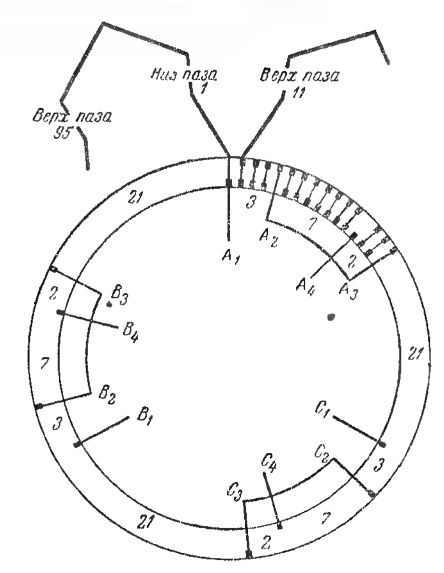



Рис. 6-35. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 105 пазов, 10 полюсов, ППФ = $3^1/_2$.

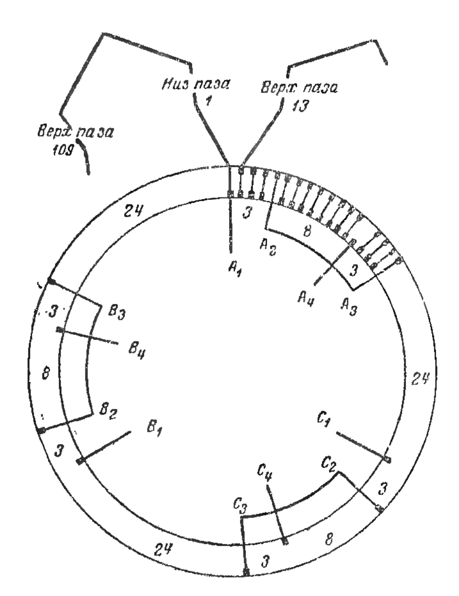



Рис. 6-36. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 120 пазов, 10 полюсов, ППФ = 4.



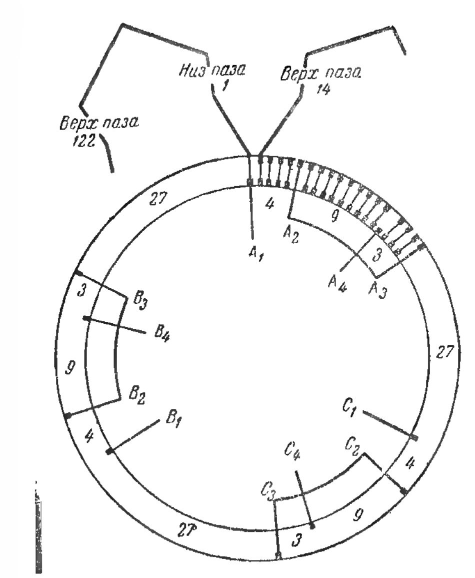



Рис. 6-37. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 135 пазов, 10 полюсов, ППФ = $4^1/_2$.

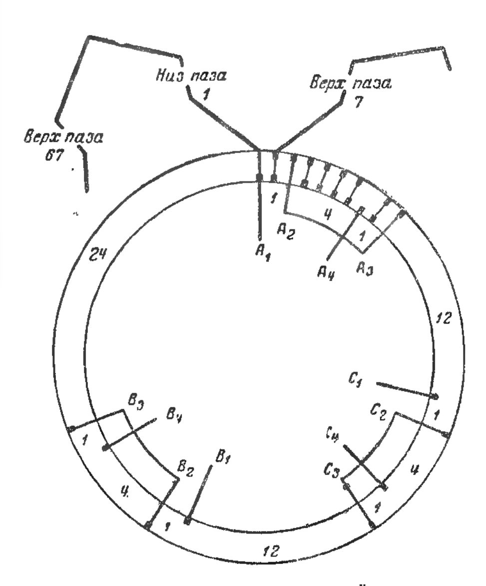



Рис. 6-38. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 72 пазов, 12 полюсов, ППФ = 2.

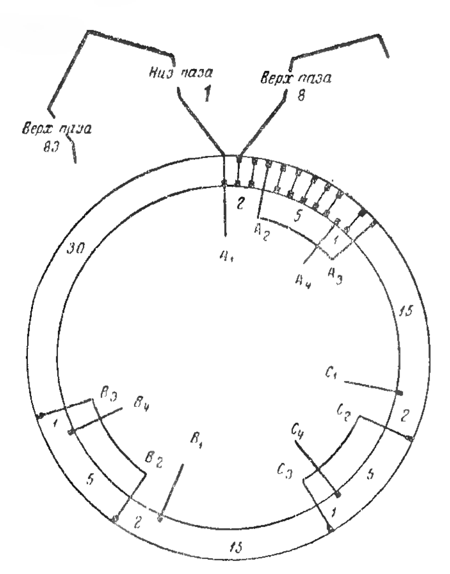



Рис. 6-39. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 90 пазов, 12 полюсов, ППФ $= 2^1/_2$.

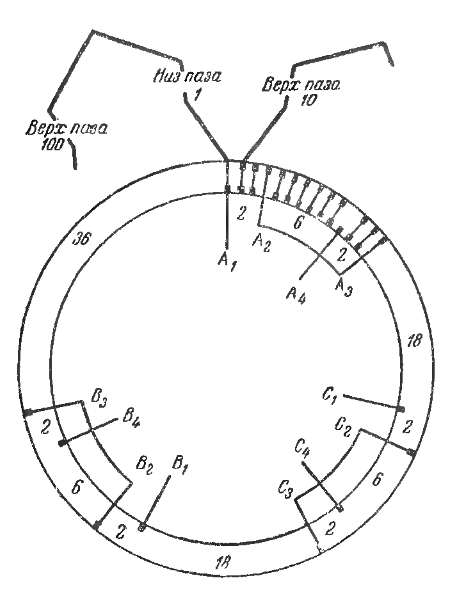



Рис. 6-40. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 108 пазов, 12 полюсов, ППФ = 3.

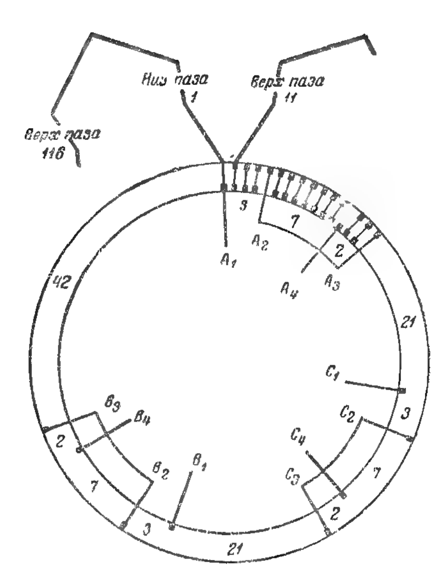



Рис. 6-41. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 126 пазов, 12 полюсов, ППФ $= 3^1/_2$.

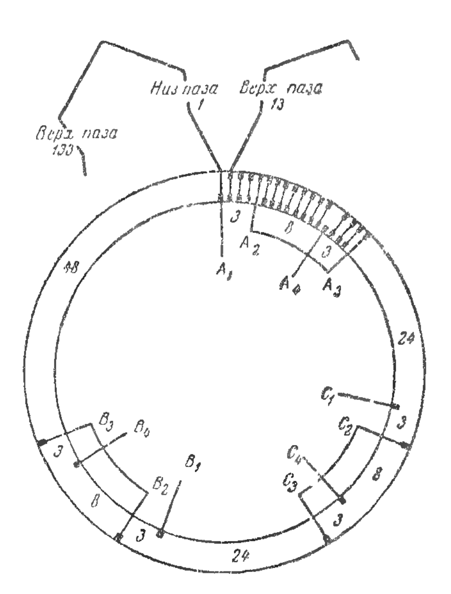



Рис. 6-42. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 144 пазов, 12 полюсов, ППФ = 4.

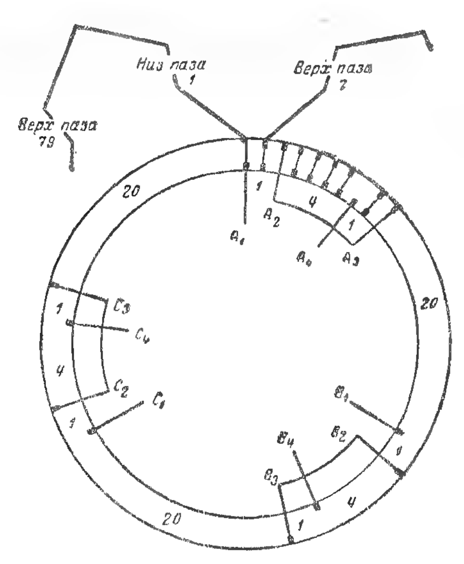



Рис. 6-43. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 84 пазов, 14 полюсов, ППФ = 2.

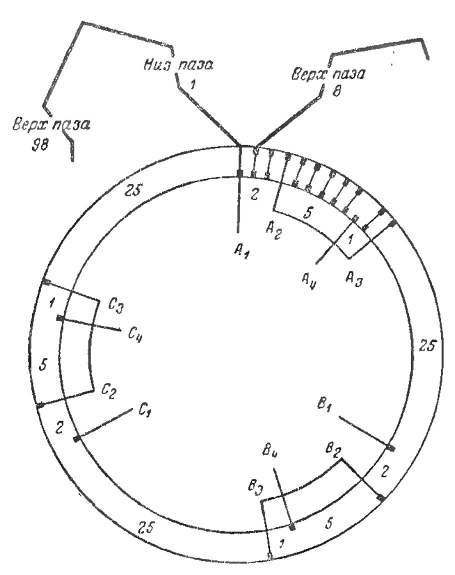



Рис. 6-44. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 105 пазов, 14 полюсов, ППФ = $2^1/_2$.



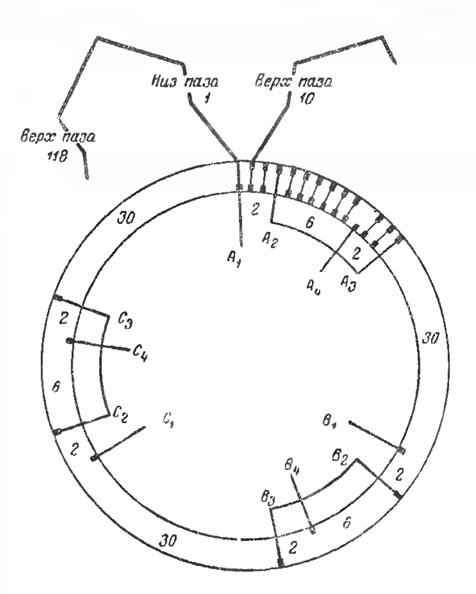



Рис. 6-45. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 126 пазов, 14 полюсов, ППФ = 3.

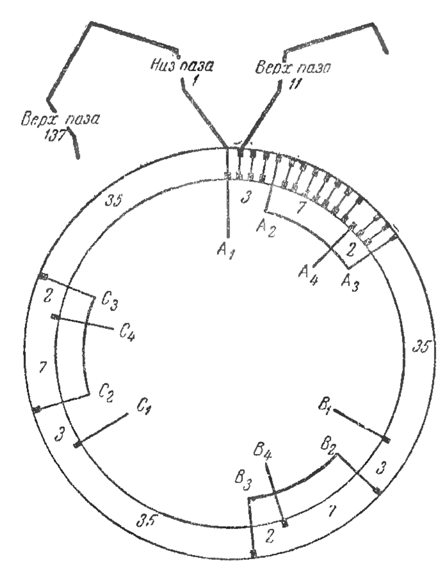



Рис. 6-46. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 147 пазов, 14 полюсов, ППФ = $3^1/_2$.

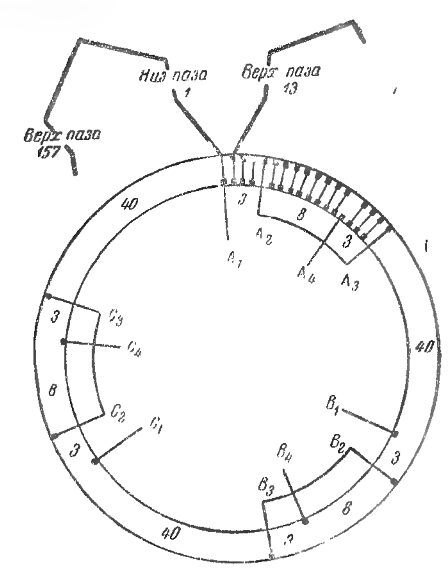



Рис. 6-47. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 168 пазов, 14 полюсов, ППФ = 4.

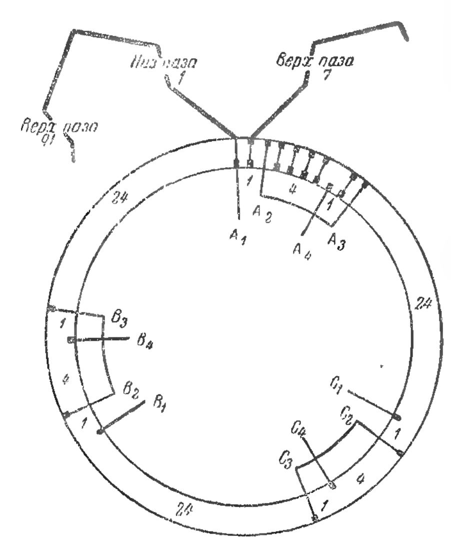



Рис. 6-48. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 96 пазов, 16 полюсов, ППФ = 2.



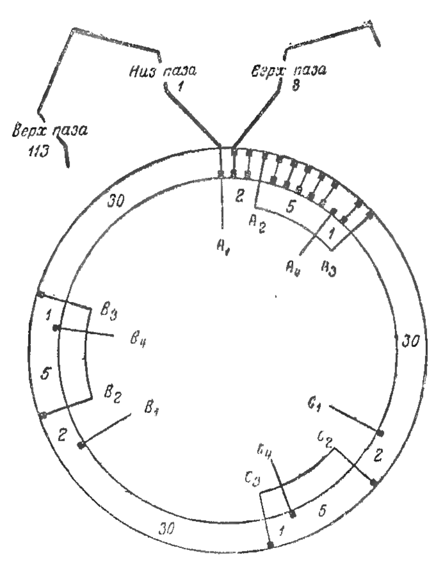



Рис. 6-49. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 120 пазов, 16 полюсов, ППФ = $2^1/_2$.

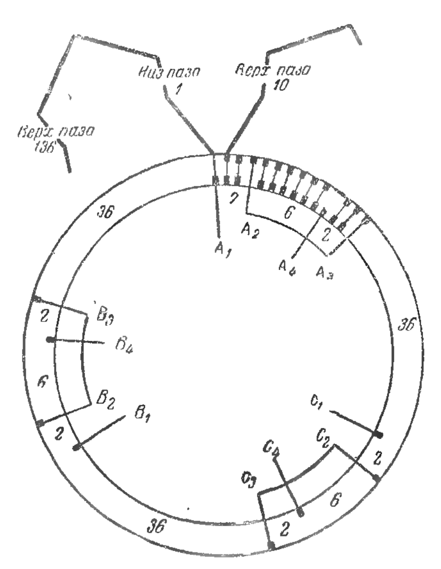



Рис. 6-50. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 144 пазов, 16 полюсов, ППФ = 3.

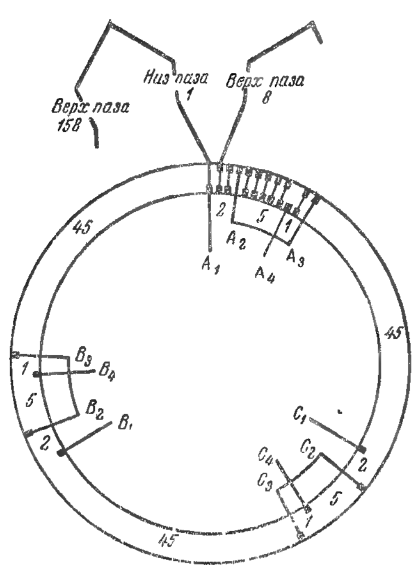



Рис. 6-51. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 168 пазов, 16 полюсов, ППФ $= 3^1/_2$.

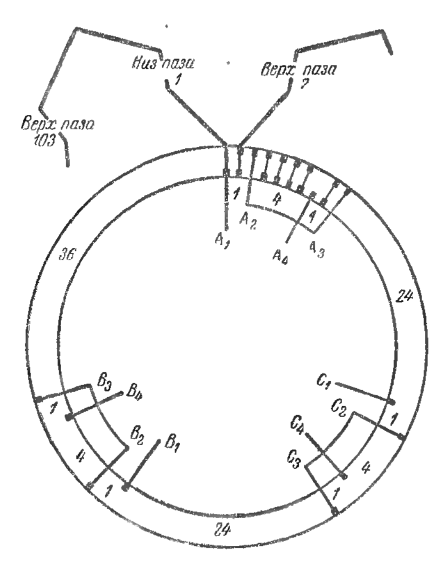



Рис. 6-52. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 108 пазов, 18 полюсов, ППФ $= 2$.



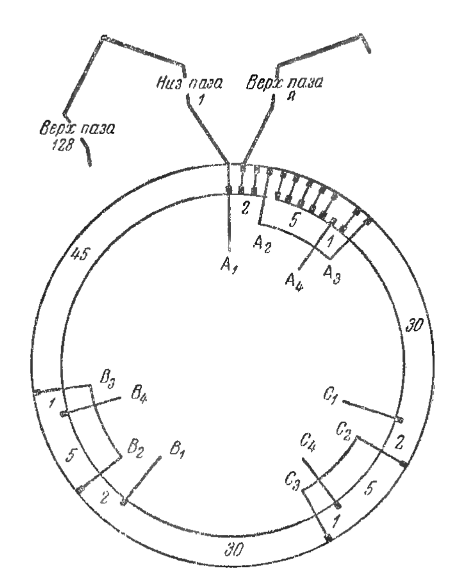



Рис. 6-53. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 135 пазов, 18 полюсов, ППФ $= 2^1/_2$.

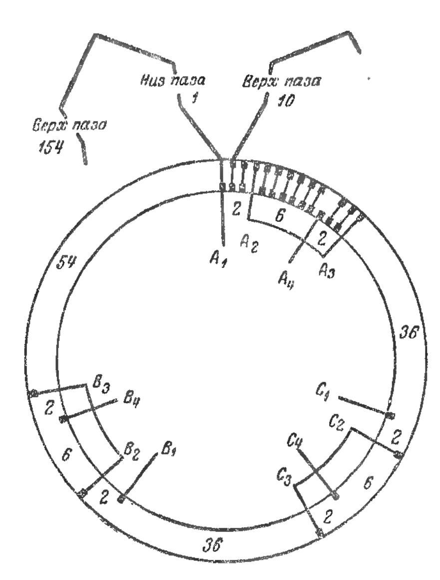



Рис. 6-54. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 162 пазов, 18 полюсов, ППФ $= 3$.

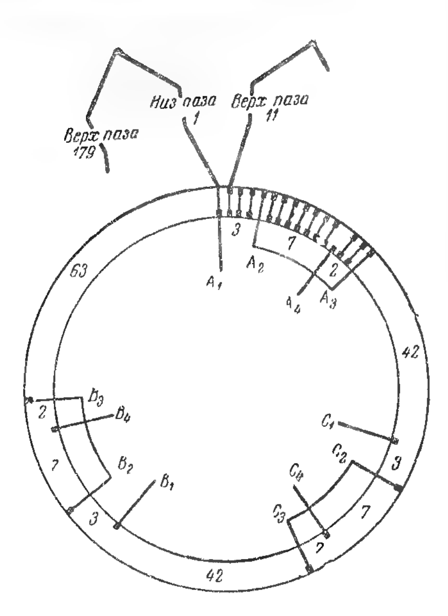



Рис. 6-55. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 189 пазов, 18 полюсов, ППФ = $3^1/_2$.

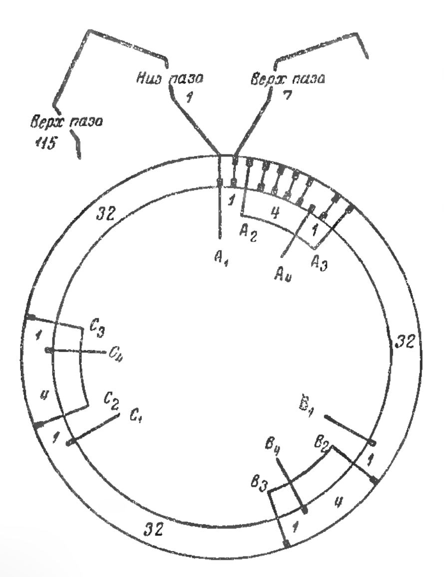



Рис. 6-56. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 120 пазов, 20 полюсов, ППФ = 2.



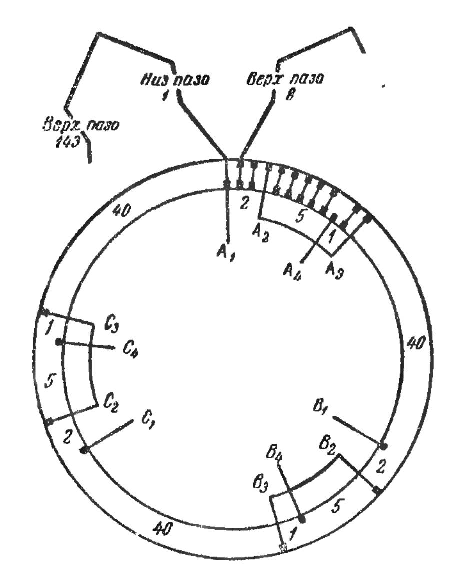



Рис. 6-57. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 150 пазов, 20 полюсов, ППФ = $2^1/_2$.

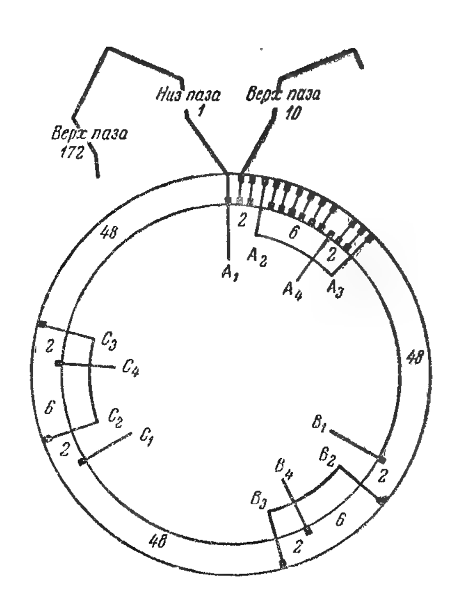



Рис. 6-58. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 180 пазов, 20 полюсов, ППФ = 3.

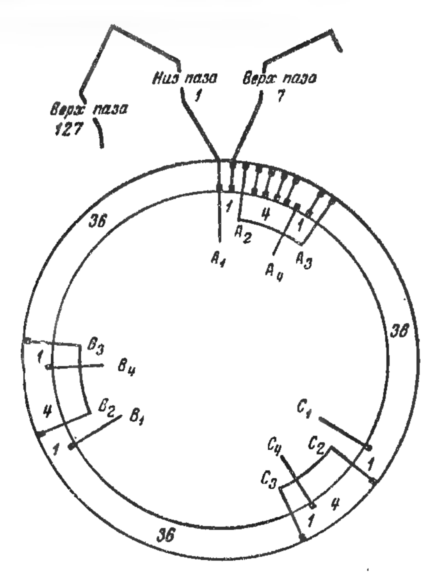



Рис. 6-59. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 132 пазов, 22 полюсов, ППФ = 2.

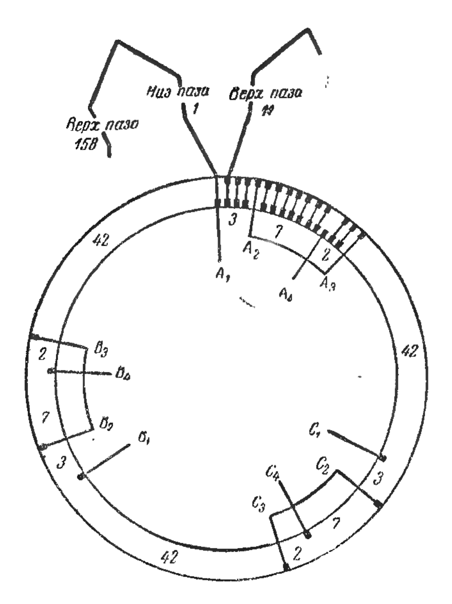



Рис. 6-60. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 165 пазов, 22 полюсов. ППФ = $2^1/_2$.



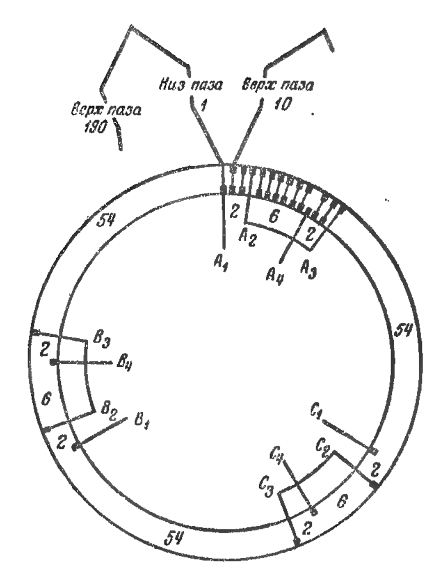



Рис. 6-61. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 198 пазов, 22 полюсов, ППФ = 3.

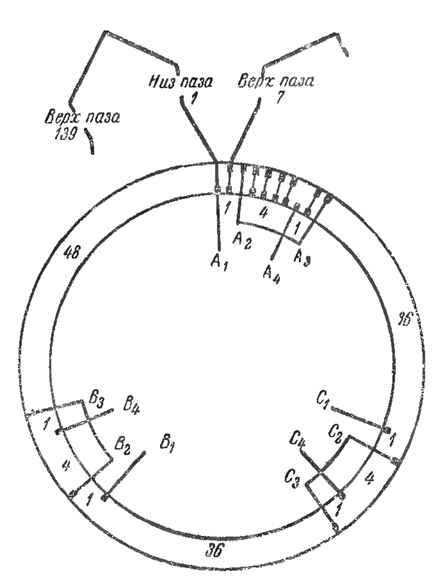



Рис. 6-62. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 144 пазов, 24 полюсов, ППФ = 2.

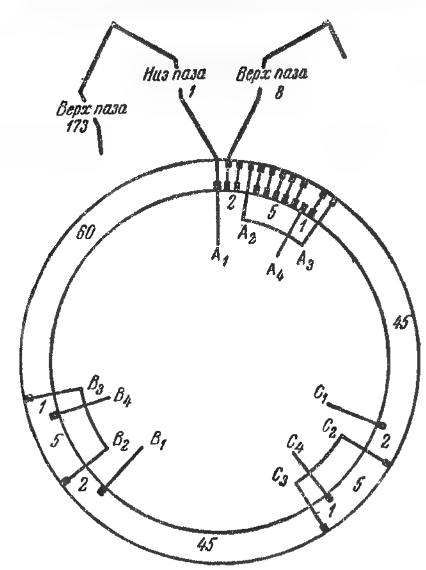



Рис. 6-63. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 180 пазов, 24 полюсов, ППФ $= 2^1/_2$.

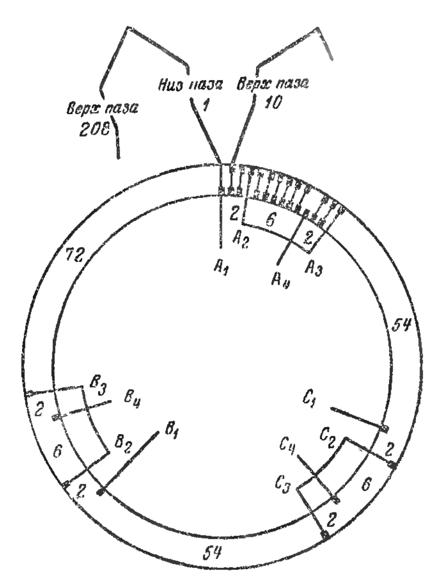



Рис. 6-64. Рабочая схема соединений с укороченными переходами для 216 пазов, 24 полюсов, ППФ $= 3$.



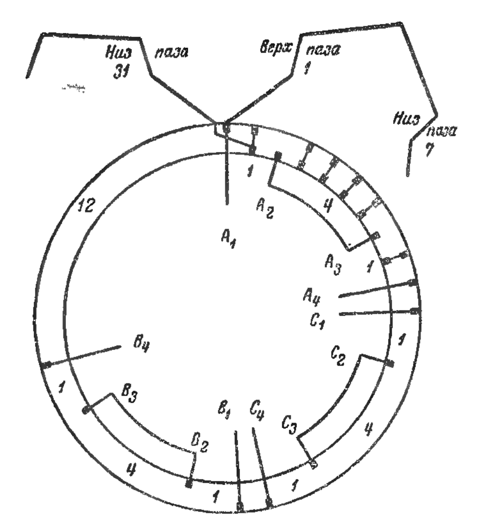



Рис. 6-65. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 36 пазов, 6 полюсов, ППФ $= 2$.

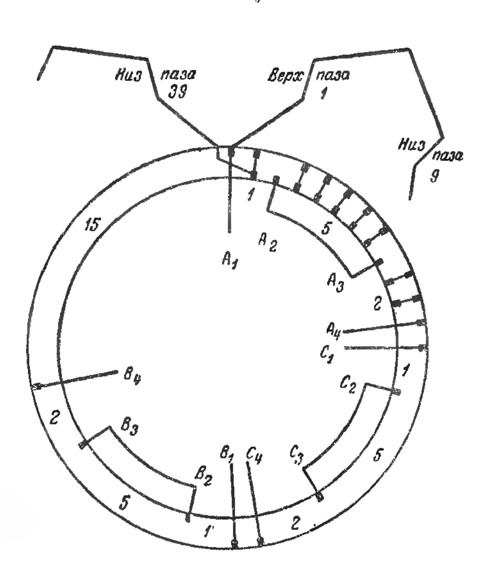



Рис. 6-66. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 45 пазов, 6 полюсов, ППФ $= 2^1/_2$.

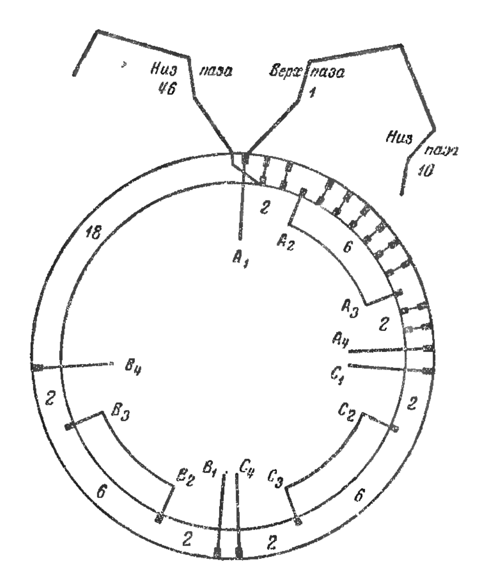



Рис. 6-67. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 54 пазов, 6 полюсов, ППФ = 3.

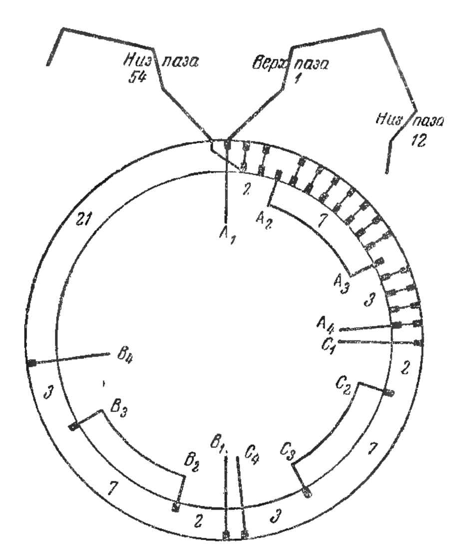



Рис. 6-68. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 63 пазов, 6 полюсов, ППФ = $3^1/_2$.



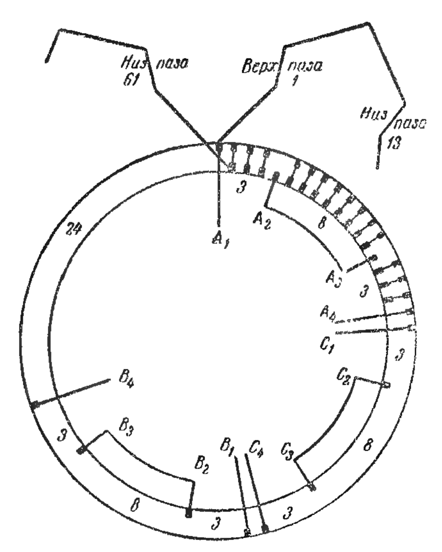



Рис. 6-69. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 72 пазов, 6 полюсов, ППФ = 4.

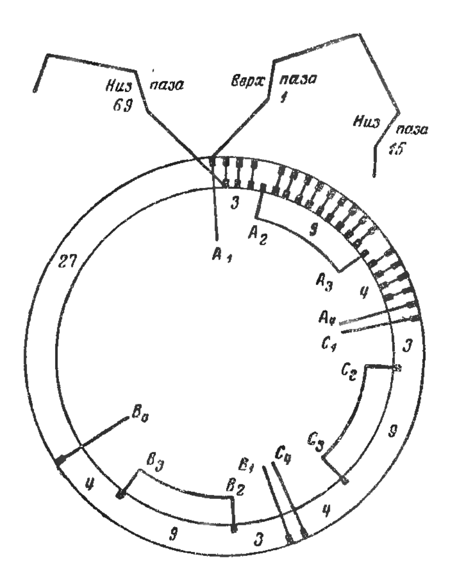



Рис. 6-70. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 81 паза, 6 полюсов, ППФ = $4^1/_2$.

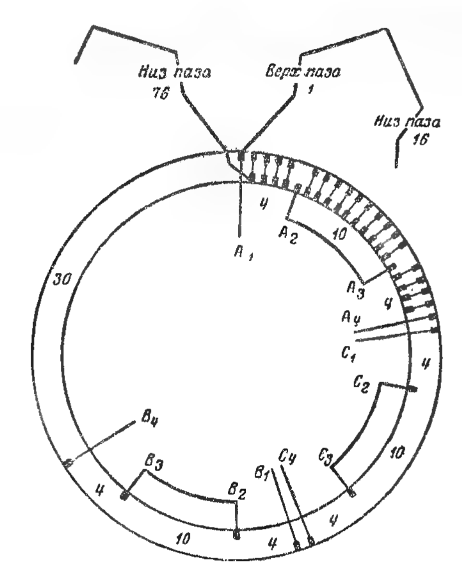



Рис. 6-71. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 90 пазов, 6 полюсов, ППФ = 5.

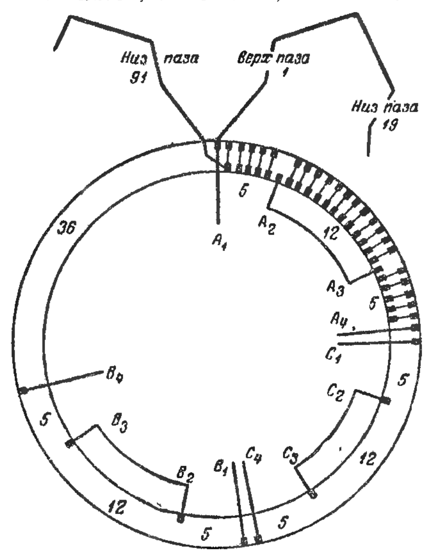



Рис. 6-72. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 108 пазов, 6 полюсов, ППФ = 6.



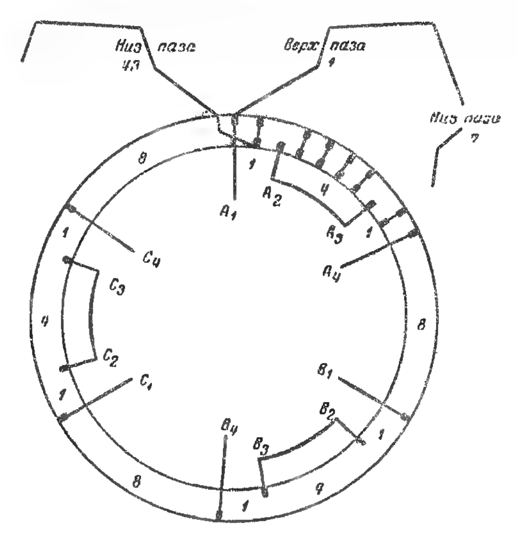



Рис. 6-73. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 48 пазов, 8 полюсов, ППФ = 2.

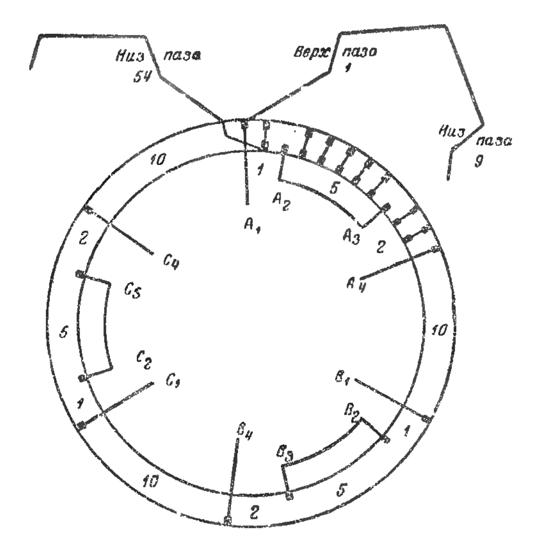



Рис. 6-74. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 60 пазов, 8 полюсов, ППФ = $2^1/_2$.

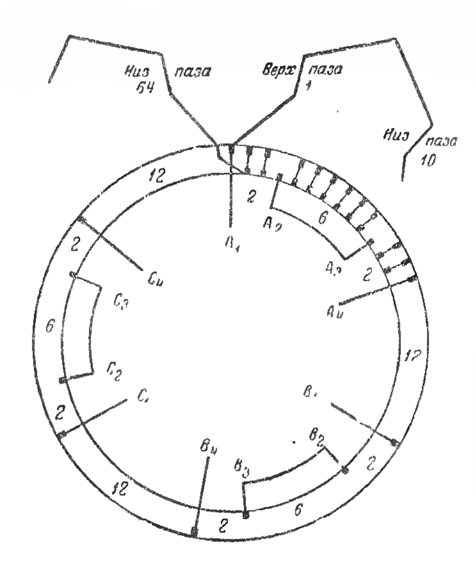



Рис. 6-75. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 72 пазов, 8 полюсов, ППФ = 3.

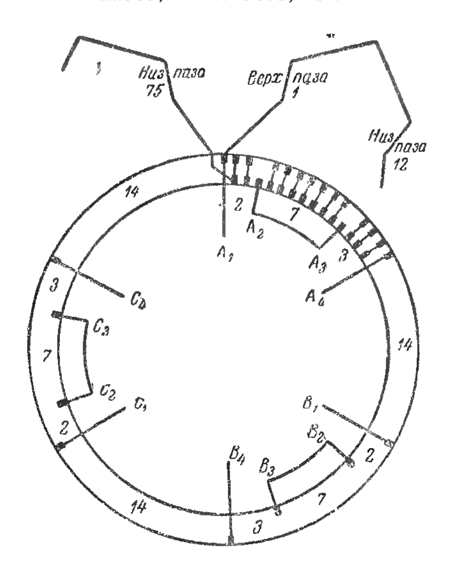



Рис. 6-76. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 84 пазов, 8 полюсов, ППФ = $3^1/_2$.



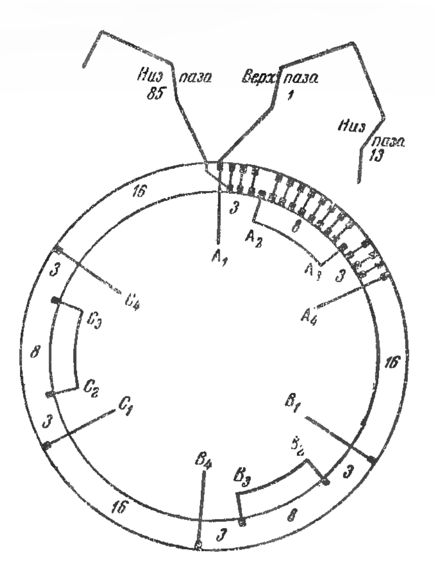



Рис. 6-77. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 96 пазов, 8 полюсов, ППФ = 4.

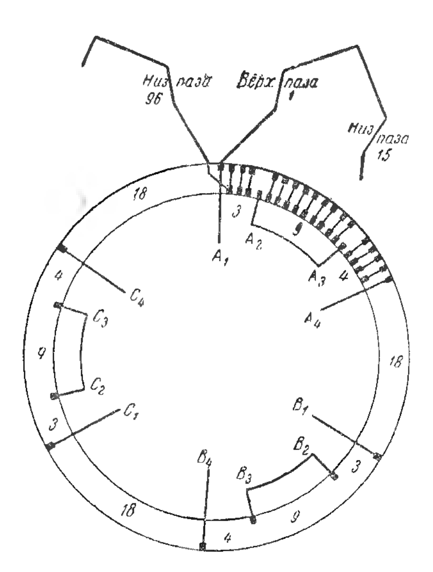



Рис. 6-78. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 108 пазов, 8 полюсов, ППФ = $4^1/_2$.

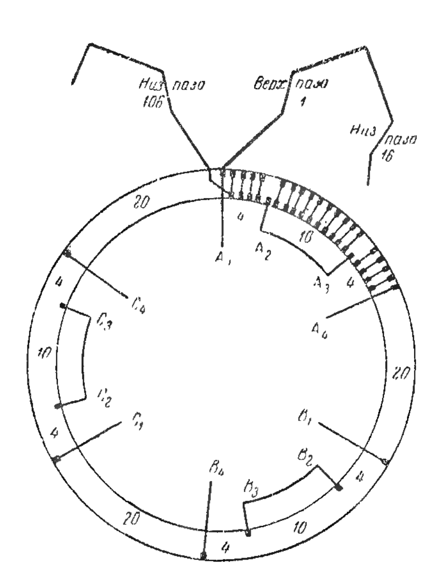



Рис. 6-79. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 120 пазов, 8 полюсов, ППФ = 5.

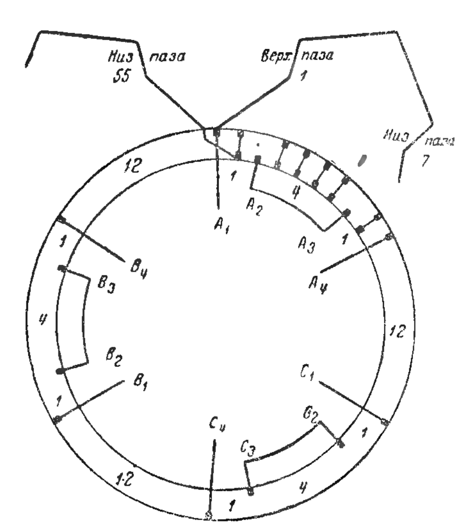



Рис. 6-80. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 60 пазов, 10 полюсов, ППФ = 2.



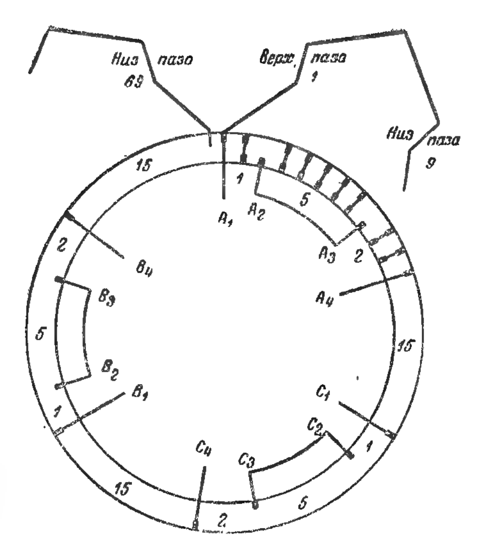



Рис. 6-81. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 75 пазов, 10 полюсов, ППФ = $2^1/_2$.

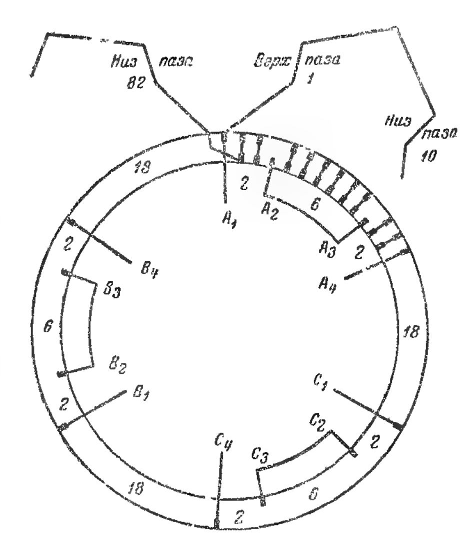



Рис. 6-82. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 90 пазов, 10 полюсов, ППФ = 3.

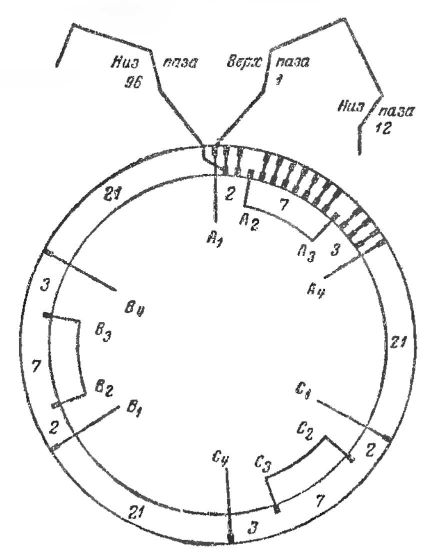



Рис. 6-83. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 105 пазов, 10 полюсов, ППФ = $3^1/_2$.

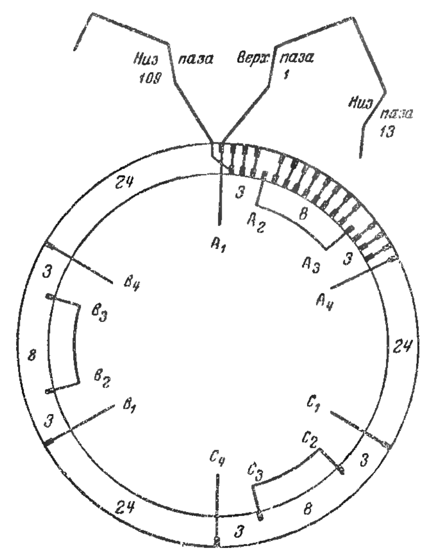



Рис. 6-84. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 120 пазов, 10 полюсов, ППФ = 4.



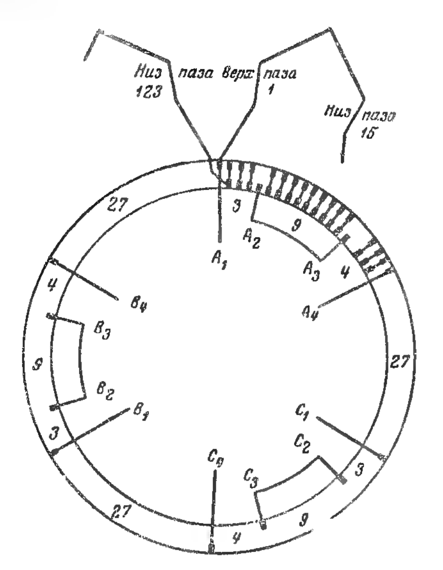



Рис. 6-85. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 135 пазов, 10 полюсов, ППФ = $4^1/_2$.

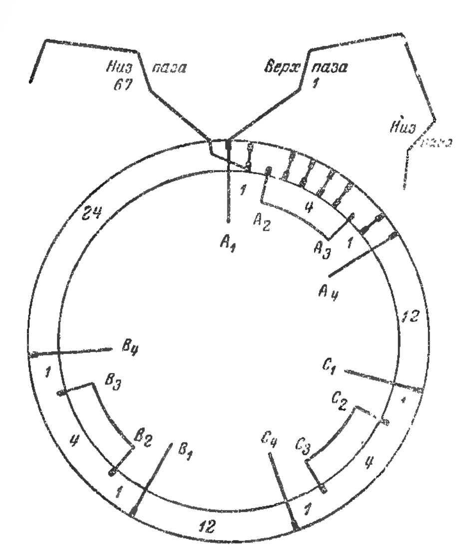



Рис. 6-86. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 72 пазов, 12 полюсов, ППФ = 2.

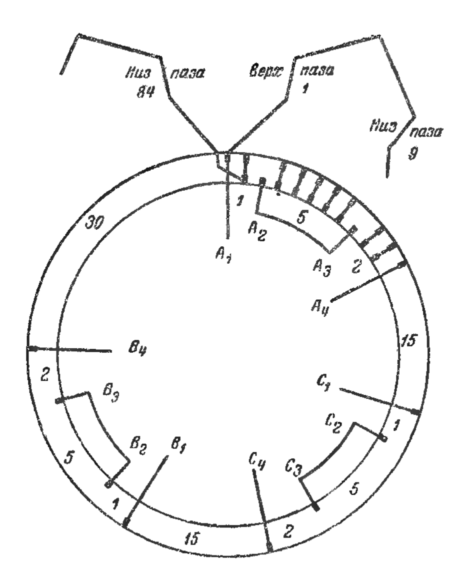



Рис. 6-87. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 90 пазов, 12 полюсов, ППФ = $2^1/_2$.

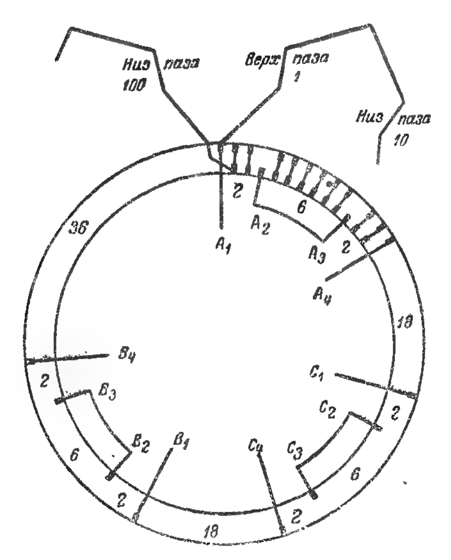



Рис. 6-88. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 108 пазов, 12 полюсов, ППФ = 3.



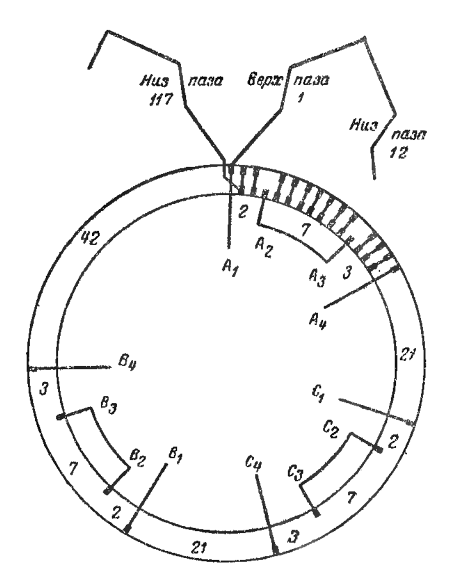



Рис. 6-89. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 126 пазов, 12 полюсов, ППФ=$3^1/_2$.

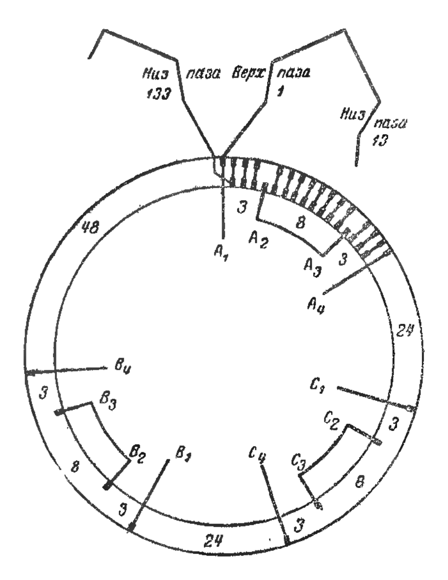



Рис. 6-90. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 144 пазов, 12 полюсов, ППФ=4.

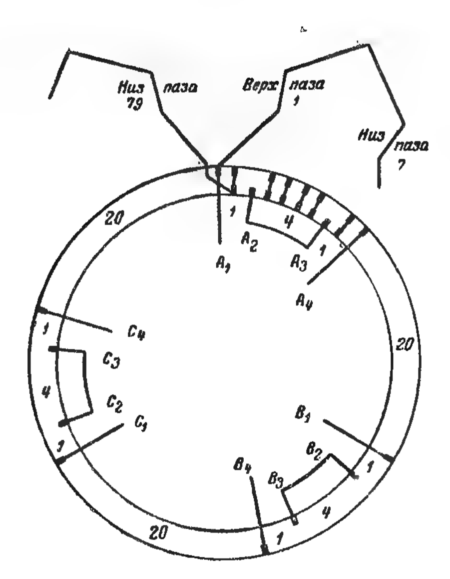



Рис. 6-91. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 84 пазов, 14 полюсов, ППФ=2.

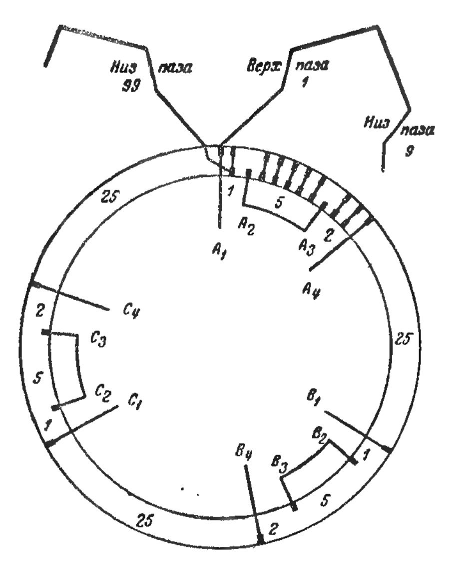



Рис. 6-92. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 105 пазов, 14 полюсов, ППФ=$2^1/_2$.



476—2



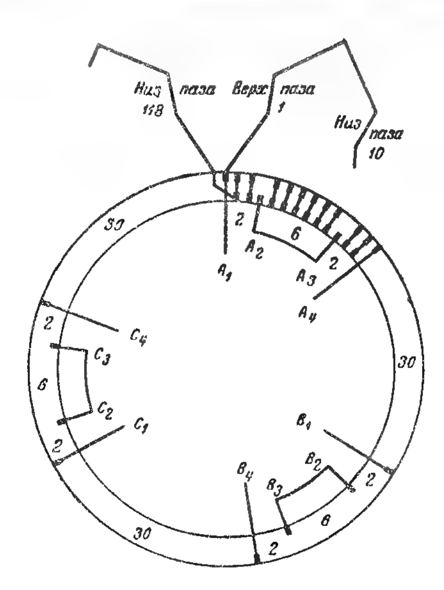



Рис. 6-93. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 126 пазов, 14 полюсов, ППФ=3.

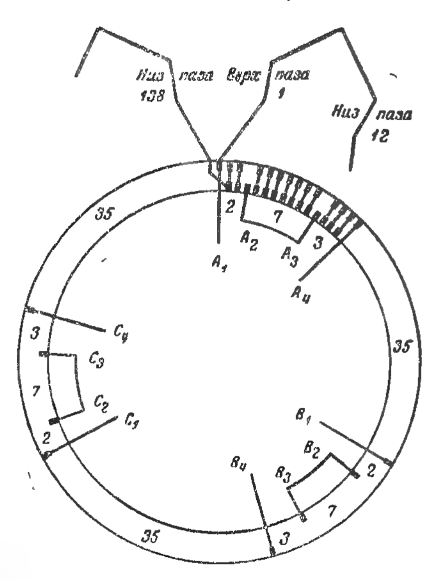



Рис. 6-94. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 147 пазов, 14 полюсов, ППФ=$3^1/_2$.

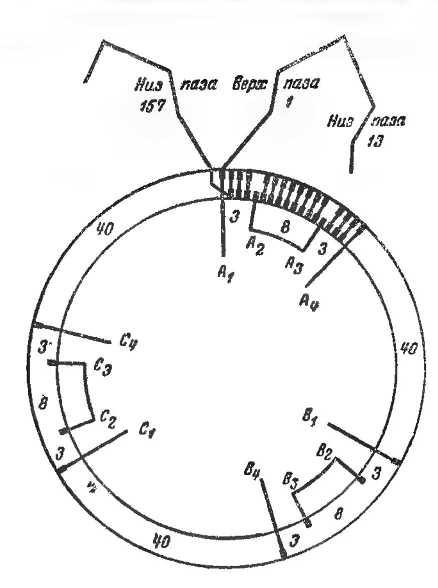



Рис. 6-95. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 168 пазов, 14 полюсов, ППФ=4.

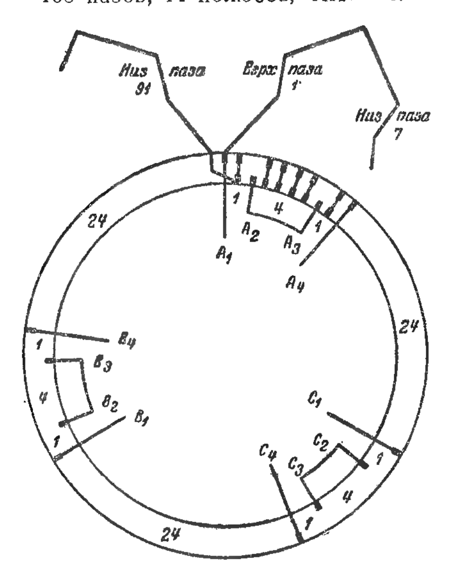



Рис. 6-96. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 96 пазов, 16 полюсов, ППФ=2.



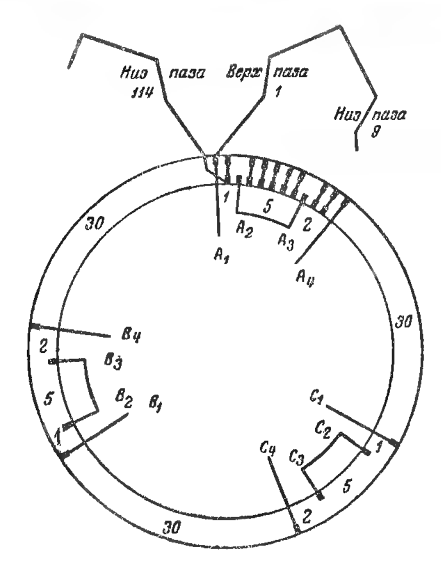



Рис. 6-97. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 120 пазов, 16 полюсов, ППФ=$2^1/_2$.

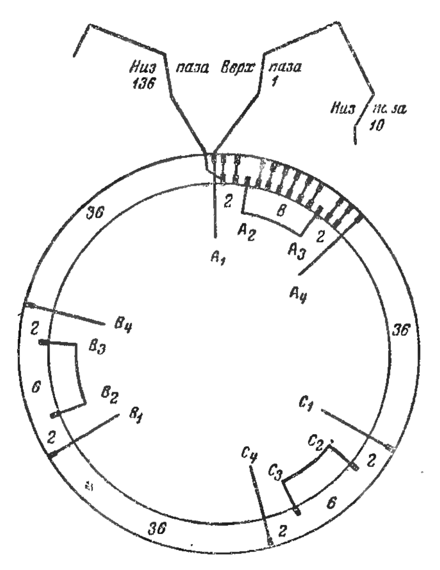



Рис. 6-98. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 144 пазов, 16 полюсов, ППФ=3.

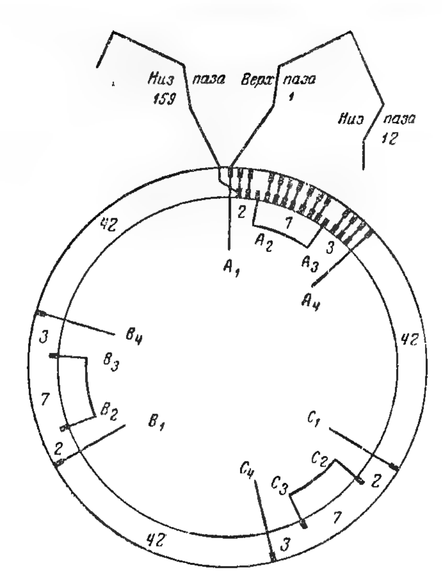



Рис. 6-99. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 168 пазов, 16 полюсов, ППФ$=3^1/_2$.

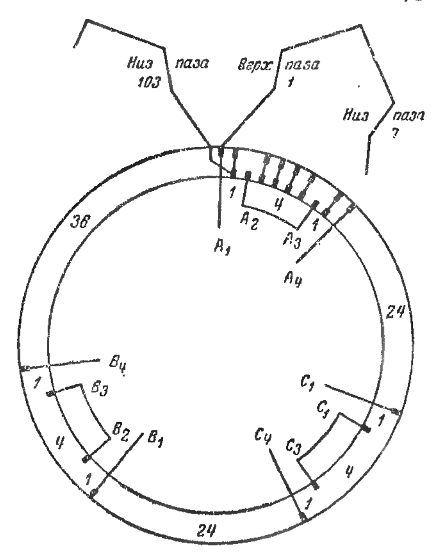



Рис. 6-100. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 108 пазов, 18 полюсов, ППФ=2.



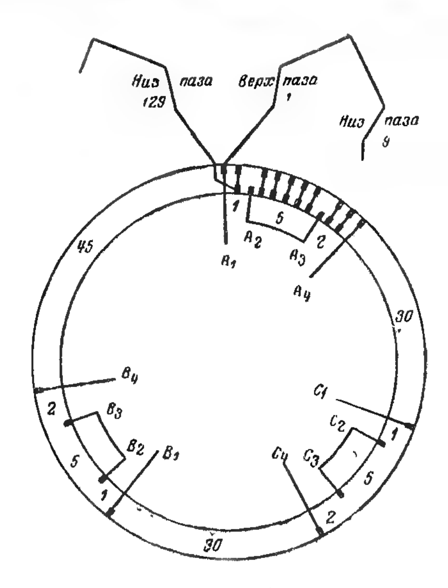



Рис. 6-101. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 135 пазов, 18 полюсов, ППФ$=2^1/_2$.

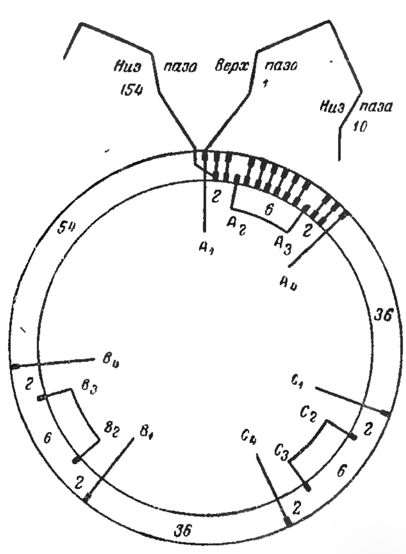



Рис. 6-102. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 162 пазов, 18 полюсов, ППФ=3.

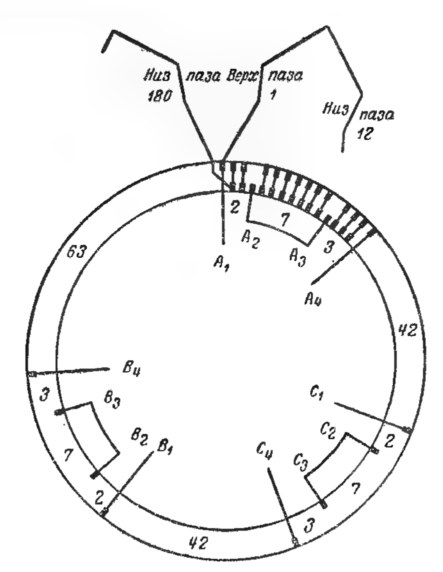



Рис. 6-103. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 189 пазов, 18 полюсов, ППФ=$3^1/_2$.

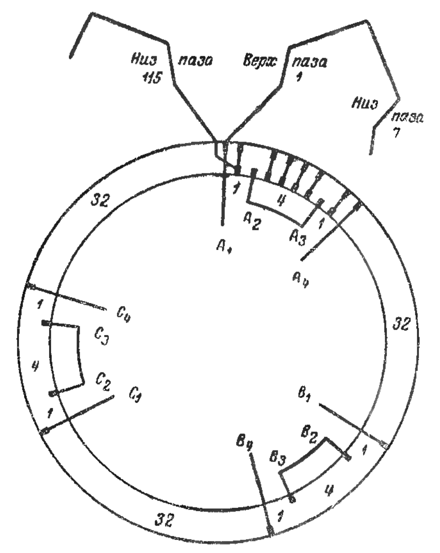



Рис. 6-104. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 120 пазов, 20 полюсов, ППФ=2.



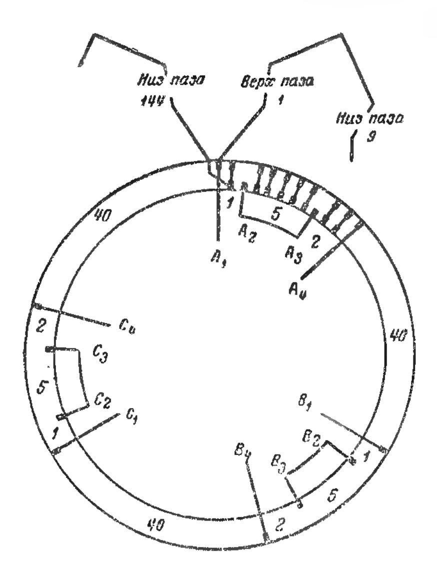



Рис. 6-105. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 150 пазов, 20 полюсов, ППФ=$2^1/_2$.

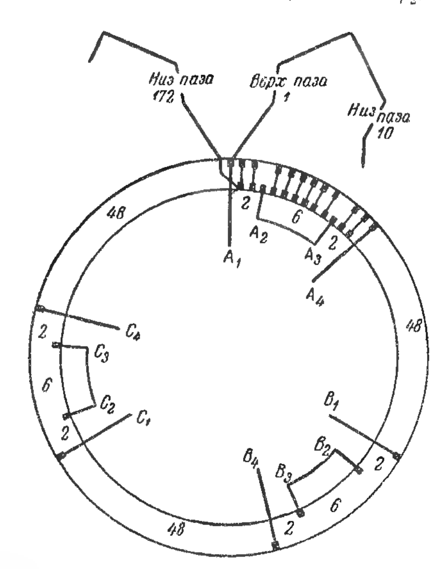



Рис. 6-106. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 180 пазов, 20 полюсов, ППФ=3.

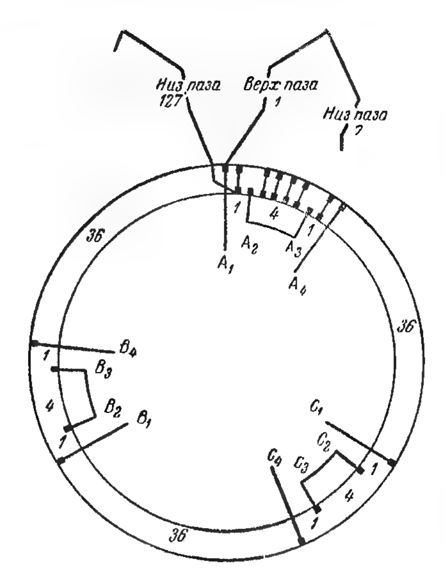



Рис. 6-107. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 132 пазов, 22 полюсов, ППФ=2.

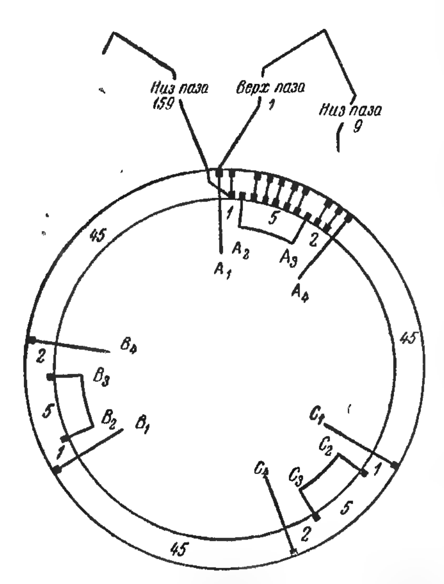



Рис. 6-108. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 165 пазов, 22 полюсов, ППФ=$2^1/_2$.



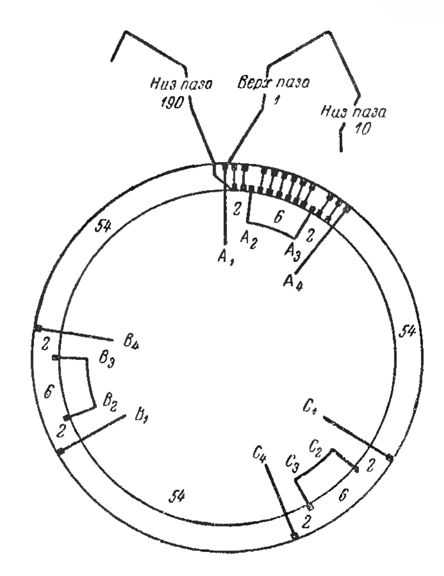



Рис. 6-109. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 198 пазов, 22 полюсов, ППФ=3.

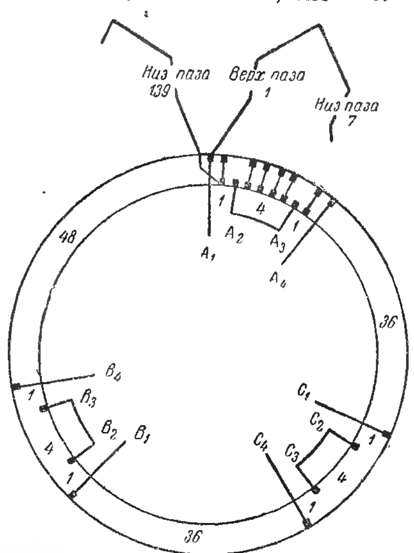



Рис. 6-110. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 144 пазов, 24 полюсов, ППФ=2.

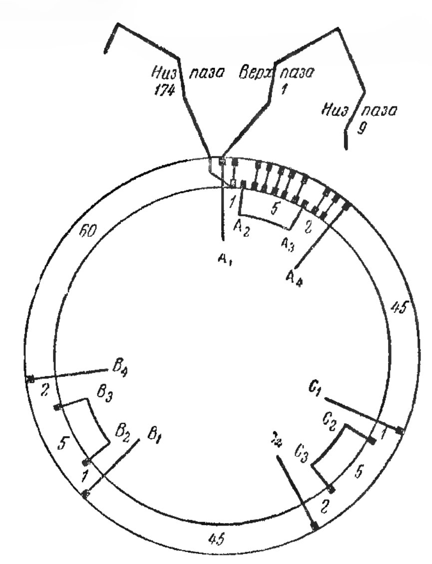



Рис. 6-111. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 180 пазов, 24 полюсов, ППФ=$2^1/_2$.

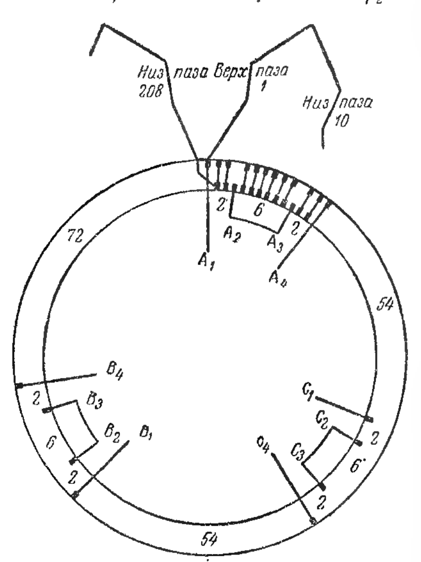



Рис. 6-112. Рабочая схема соединений с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части для 216 пазов, 24 полюсов, ППФ=3.



Таблица 6-1

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ=$1^1/_2$. Задний шаг равен 5 пазовым делениям; передний шаг равен 4 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза А: Нижние выводы, начало $A_1$ | Фаза А: Нижние выводы, конец $A_4$ | Фаза А: Верхние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза А: Верхние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза В: Нижние выводы, начало $B_1$ | Фаза В: Нижние выводы, конец $B_4$ | Фаза В: Верхние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза В: Верхние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза С: Нижние выводы, начало $C_1$ | Фаза С: Нижние выводы, конец $C_4$ | Фаза С: Верхние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза С: Верхние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 18 | 1 | 6 | 6 | 10 | 13 | 18 | 18 | 4 | 7 | 12 | 12 | 16 | 1 | 3 | 0 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 27 | 1 | 6 | 6 | 10 | 13 | 18 | 18 | 22 | 7 | 12 | 12 | 16 | 1 | 3 | 0 | — | — | — | 0 | 0 | 3 | — |
| 8 | 36 | 1 | 6 | 6 | 10 | 13 | 18 | 18 | 22 | 25 | 30 | 30 | 34 | 1 | 3 | 0 | 6 | 6 | 6 | — | — | — | — |
| 10 | 45 | 1 | 6 | 6 | 10 | 31 | 36 | 36 | 40 | 16 | 21 | 21 | 25 | 1 | 3 | 0 | — | — | — | 9 | 9 | 9 | — |
| 12 | 54 | 1 | 6 | 6 | 10 | 31 | 36 | 36 | 40 | 16 | 21 | 21 | 25 | 1 | 3 | 0 | — | — | — | 9 | 9 | 18 | — |
| 14 | 63 | 1 | 6 | 6 | 10 | 22 | 27 | 27 | 31 | 43 | 48 | 48 | 52 | 1 | 3 | 0 | 15 | 15 | 15 | — | — | — | — |
| 16 | 72 | 1 | 6 | 6 | 10 | 49 | 54 | 54 | 58 | 25 | 30 | 30 | 34 | 1 | 3 | 0 | — | — | — | 18 | 18 | 18 | — |
| 18 | 81 | 1 | 6 | 6 | 10 | 49 | 54 | 54 | 58 | 25 | 30 | 30 | 34 | 1 | 3 | 0 | — | — | — | 18 | 18 | 27 | — |
| 20 | 90 | 1 | 6 | 6 | 10 | 31 | 36 | 36 | 40 | 61 | 66 | 66 | 70 | 1 | 3 | 0 | 24 | 24 | 24 | — | — | — | — |
| 22 | 99 | 1 | 6 | 6 | 10 | 67 | 72 | 72 | 76 | 34 | 39 | 39 | 43 | 1 | 3 | 0 | — | — | — | 27 | 27 | 27 | — |
| 24 | 108 | 1 | 6 | 6 | 10 | 67 | 72 | 72 | 76 | 34 | 39 | 39 | 43 | 1 | 3 | 0 | — | — | — | 27 | 27 | 36 | — |

Таблица 6-2

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ=2. Задний шаг равен 6 пазовым делениям; передний шаг равен 6 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | | Число соединений с укороченными передними шагами между | Число соединений с нормальными передними шагами между | Число соединений с укороченными передними шагами между | Число соединений с нормальными передними шагами между | | | | | | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | | | | | | | | | | |
| | | начало | конец | поворотное соединение | | начало | конец | поворотное соединение | | начало | конец | поворотное соединение | | | | | | | | | | | |
| | | $A_1$ | $A_4$ | $A_2$ | $A_3$ | $B_1$ | $B_4$ | $B_2$ | $B_3$ | $C_1$ | $C_4$ | $C_2$ | $C_3$ | $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | |
| 4 | 24 | 1 | 7 | 8 | 14 | 17 | 23 | 24 | 6 | 9 | 15 | 16 | 22 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | 36 | 1 | 7 | 8 | 14 | 17 | 23 | 24 | 30 | 9 | 15 | 16 | 22 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 0 | 0 | 12 | 6-17 |
| 8 | 48 | 1 | 7 | 8 | 14 | 17 | 23 | 24 | 30 | 33 | 39 | 40 | 46 | 1 | 4 | 1 | 8 | 8 | 8 | — | — | — | 6-25 |
| 10 | 60 | 1 | 7 | 8 | 14 | 41 | 47 | 48 | 54 | 21 | 27 | 28 | 34 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 12 | 12 | 12 | 6-32 |
| 12 | 72 | 1 | 7 | 8 | 14 | 41 | 47 | 48 | 54 | 21 | 27 | 28 | 34 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 12 | 12 | 24 | 6-38 |
| 14 | 84 | 1 | 7 | 8 | 14 | 29 | 35 | 36 | 42 | 57 | 63 | 64 | 70 | 1 | 4 | 1 | 20 | 20 | 20 | — | — | — | 6-43 |
| 16 | 96 | 1 | 7 | 8 | 14 | 65 | 71 | 72 | 78 | 33 | 39 | 40 | 46 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 24 | 24 | 24 | 6-48 |
| 18 | 108 | 1 | 7 | 8 | 14 | 65 | 71 | 72 | 78 | 33 | 39 | 40 | 46 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 24 | 24 | 36 | 6-52 |
| 20 | 120 | 1 | 7 | 8 | 14 | 41 | 47 | 48 | 54 | 81 | 87 | 88 | 94 | 1 | 4 | 1 | 32 | 32 | 32 | — | — | — | 6-56 |
| 22 | 132 | 1 | 7 | 8 | 14 | 89 | 95 | 96 | 102 | 45 | 51 | 52 | 58 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 36 | 36 | 36 | 6-59 |
| 24 | 144 | 1 | 7 | 8 | 14 | 89 | 95 | 96 | 102 | 45 | 51 | 52 | 58 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 36 | 36 | 48 | 6-62 |



Таблица 6-3

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ=$2^1/_2$. Задний шаг равен 8 пазовым делениям; передний шаг равен 7 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | | Число соединений с укороченными передними шагами между | Число соединений с нормальными передними шагами между | Число соединений с укороченными передними шагами между | Число соединений с нормальными передними шагами между | | | | | | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | | | | | | | | | | |
| | | начало | конец | поворотное соединение | | начало | конец | поворотное соединение | | начало | конец | поворотное соединение | | | | | | | | | | | |
| | | $A_1$ | $A_4$ | $A_2$ | $A_3$ | $B_1$ | $B_4$ | $B_2$ | $B_3$ | $C_1$ | $C_4$ | $C_2$ | $C_3$ | $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | |
| 4 | 30 | 1 | 9 | 10 | 17 | 21 | 29 | 30 | 7 | 11 | 19 | 20 | 27 | 2 | 5 | 1 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | 45 | 1 | 9 | 10 | 17 | 21 | 29 | 30 | 37 | 11 | 19 | 20 | 27 | 2 | 5 | 1 | — | — | — | 0 | 0 | 15 | 6-18 |
| 8 | 60 | 1 | 9 | 10 | 17 | 21 | 29 | 30 | 37 | 41 | 49 | 50 | 57 | 2 | 5 | 1 | 10 | 10 | 10 | — | — | — | 6-26 |
| 10 | 75 | 1 | 9 | 10 | 17 | 51 | 59 | 60 | 67 | 26 | 34 | 35 | 42 | 2 | 5 | 1 | — | — | — | 15 | 15 | 15 | 6-33 |
| 12 | 90 | 1 | 9 | 10 | 17 | 51 | 59 | 60 | 67 | 26 | 34 | 35 | 42 | 2 | 5 | 1 | — | — | — | 15 | 15 | 30 | 6-39 |
| 14 | 105 | 1 | 9 | 10 | 17 | 36 | 44 | 45 | 52 | 71 | 79 | 80 | 87 | 2 | 5 | 1 | 25 | 25 | 25 | — | — | — | 6-44 |
| 16 | 120 | 1 | 9 | 10 | 17 | 81 | 89 | 90 | 97 | 41 | 49 | 50 | 57 | 2 | 5 | 1 | — | — | — | 30 | 30 | 30 | 6-49 |
| 18 | 135 | 1 | 9 | 10 | 17 | 81 | 89 | 90 | 97 | 41 | 49 | 50 | 57 | 2 | 5 | 1 | — | — | — | 30 | 30 | 45 | 6-53 |
| 20 | 150 | 1 | 9 | 10 | 17 | 51 | 59 | 60 | 67 | 101 | 109 | 110 | 117 | 2 | 5 | 1 | 40 | 40 | 40 | — | — | — | 6-57 |
| 22 | 165 | 1 | 9 | 10 | 17 | 111 | 119 | 120 | 127 | 56 | 64 | 65 | 72 | 2 | 5 | 1 | — | — | — | 45 | 45 | 45 | 6-60 |
| 24 | 180 | 1 | 9 | 10 | 17 | 111 | 119 | 120 | 127 | 56 | 64 | 65 | 72 | 2 | 5 | 1 | — | — | — | 45 | 45 | 60 | 6-63 |

Таблица 6-4

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ=3. Задний шаг равен 9 пазовым делениям; передний шаг равен 9 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A. Нижние выводы. начало $A_1$ | Фаза A. Нижние выводы. конец $A_4$ | Фаза A. Верхние выводы. поворотное соединение $A_2$ | Фаза A. Верхние выводы. поворотное соединение $A_3$ | Фаза B. Нижние выводы. начало $B_1$ | Фаза B. Нижние выводы. конец $B_4$ | Фаза B. Верхние выводы. поворотное соединение $B_2$ | Фаза B. Верхние выводы. поворотное соединение $B_3$ | Фаза C. Нижние выводы. начало $C_1$ | Фаза C. Нижние выводы. конец $C_4$ | Фаза C. Верхние выводы. поворотное соединение $C_2$ | Фаза C. Верхние выводы. поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 36 | 1 | 10 | 12 | 21 | 25 | 34 | 36 | 9 | 13 | 22 | 24 | 33 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | 54 | 1 | 10 | 12 | 21 | 25 | 34 | 36 | 45 | 13 | 22 | 24 | 33 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 0 | 0 | 18 | 6-19 |
| 8 | 72 | 1 | 10 | 12 | 21 | 25 | 34 | 36 | 45 | 49 | 58 | 60 | 69 | 2 | 6 | 2 | 12 | 12 | 12 | — | — | — | 6-27 |
| 10 | 90 | 1 | 10 | 12 | 21 | 61 | 70 | 72 | 81 | 31 | 40 | 42 | 51 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 18 | 18 | 18 | 6-34 |
| 12 | 108 | 1 | 10 | 12 | 21 | 61 | 70 | 72 | 81 | 31 | 40 | 42 | 51 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 18 | 18 | 36 | 6-40 |
| 14 | 126 | 1 | 10 | 12 | 21 | 43 | 52 | 54 | 63 | 85 | 94 | 96 | 105 | 2 | 6 | 2 | 30 | 30 | 30 | — | — | — | 6-45 |
| 16 | 144 | 1 | 10 | 12 | 21 | 97 | 106 | 108 | 117 | 49 | 58 | 60 | 69 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 36 | 36 | 36 | 6-50 |
| 18 | 162 | 1 | 10 | 12 | 21 | 97 | 106 | 108 | 117 | 49 | 58 | 60 | 69 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 36 | 36 | 54 | 6-54 |
| 20 | 180 | 1 | 10 | 12 | 21 | 61 | 70 | 72 | 81 | 121 | 130 | 132 | 141 | 2 | 6 | 2 | 48 | 48 | 48 | — | — | — | 6-58 |
| 22 | 198 | 1 | 10 | 12 | 21 | 133 | 142 | 144 | 153 | 67 | 76 | 78 | 87 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 54 | 54 | 54 | 6-61 |
| 24 | 216 | 1 | 10 | 12 | 21 | 133 | 142 | 144 | 153 | 67 | 76 | 78 | 87 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 54 | 54 | 72 | 6-64 |

Таблица 6-5

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ=3¹/₂. Задний шаг равен 11 пазовым делениям; передний шаг равен 10 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A. Нижние выводы. начало $A_1$ | Фаза A. Нижние выводы. конец $A_4$ | Фаза A. Верхние выводы. поворотное соединение $A_2$ | Фаза A. Верхние выводы. поворотное соединение $A_3$ | Фаза B. Нижние выводы. начало $B_1$ | Фаза B. Нижние выводы. конец $B_4$ | Фаза B. Верхние выводы. поворотное соединение $B_2$ | Фаза B. Верхние выводы. поворотное соединение $B_3$ | Фаза C. Нижние выводы. начало $C_1$ | Фаза C. Нижние выводы. конец $C_4$ | Фаза C. Верхние выводы. поворотное соединение $C_2$ | Фаза C. Верхние выводы. поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 42 | 1 | 12 | 14 | 24 | 29 | 40 | 42 | 10 | 15 | 26 | 28 | 38 | 3 | 7 | 2 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | 63 | 1 | 12 | 14 | 24 | 29 | 40 | 42 | 52 | 15 | 26 | 28 | 38 | 3 | 7 | 2 | — | — | — | 0 | 0 | 21 | 6-20 |
| 8 | 84 | 1 | 12 | 14 | 24 | 29 | 40 | 42 | 52 | 57 | 68 | 70 | 80 | 3 | 7 | 2 | 14 | 14 | 14 | — | — | — | 6-28 |
| 10 | 105 | 1 | 12 | 14 | 24 | 71 | 82 | 84 | 94 | 36 | 47 | 49 | 59 | 3 | 7 | 2 | — | — | — | 21 | 21 | 21 | 6-35 |
| 12 | 126 | 1 | 12 | 14 | 24 | 71 | 82 | 84 | 94 | 36 | 47 | 49 | 59 | 3 | 7 | 2 | — | — | — | 21 | 21 | 42 | 6-41 |
| 14 | 147 | 1 | 12 | 14 | 24 | 50 | 61 | 63 | 73 | 99 | 110 | 112 | 122 | 3 | 7 | 2 | 35 | 35 | 35 | — | — | — | 6-46 |
| 16 | 163 | 1 | 12 | 14 | 24 | 113 | 124 | 126 | 136 | 57 | 68 | 70 | 80 | 3 | 7 | 2 | — | — | — | 42 | 42 | 42 | 6-51 |
| 18 | 189 | 1 | 12 | 14 | 24 | 113 | 124 | 126 | 136 | 57 | 68 | 70 | 80 | 3 | 7 | 2 | — | — | — | 42 | 42 | 63 | 6-55 |

Таблица 6-6

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ = 4. Задний шаг равен 12 пазовым делениям; передний шаг равен 12 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза А. Нижние выводы. Начало $A_1$ | Фаза А. Нижние выводы. Конец $A_4$ | Фаза А. Верхние выводы. Поворотное соединение $A_2$ | Фаза А. Верхние выводы. Поворотное соединение $A_3$ | Фаза В. Нижние выводы. Начало $B_1$ | Фаза В. Нижние выводы. Конец $B_4$ | Фаза В. Верхние выводы. Поворотное соединение $B_2$ | Фаза В. Верхние выводы. Поворотное соединение $B_3$ | Фаза С. Нижние выводы. Начало $C_1$ | Фаза С. Нижние выводы. Конец $C_4$ | Фаза С. Верхние выводы. Поворотное соединение $C_2$ | Фаза С. Верхние выводы. Поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 48 | 1 | 13 | 16 | 23 | 33 | 45 | 48 | 12 | 17 | 29 | 32 | 44 | 3 | 8 | 3 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | 72 | 1 | 13 | 16 | 23 | 33 | 45 | 48 | 60 | 17 | 29 | 32 | 44 | 3 | 8 | 3 | — | — | — | 0 | 0 | 24 | 6-21 |
| 8 | 96 | 1 | 13 | 16 | 23 | 33 | 45 | 48 | 60 | 65 | 77 | 80 | 92 | 3 | 8 | 3 | 16 | 16 | 16 | — | — | — | 6-29 |
| 10 | 120 | 1 | 13 | 16 | 23 | 81 | 93 | 96 | 108 | 41 | 53 | 56 | 68 | 3 | 8 | 3 | — | — | — | 24 | 24 | 24 | 6-36 |
| 12 | 144 | 1 | 13 | 16 | 23 | 81 | 93 | 96 | 108 | 41 | 53 | 56 | 63 | 3 | 8 | 3 | — | — | — | 24 | 24 | 48 | 6-42 |
| 14 | 168 | 1 | 13 | 16 | 23 | 57 | 69 | 72 | 84 | 113 | 125 | 123 | 140 | 3 | 8 | 3 | 40 | 40 | 40 | — | — | — | 6-47 |

Таблица 6-7

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ = $4^1/_2$. Задний шаг равен 14 пазовым делениям; передний шаг равен 13 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза А. Нижние выводы. Начало $A_1$ | Фаза А. Нижние выводы. Конец $A_4$ | Фаза А. Верхние выводы. Поворотное соединение $A_2$ | Фаза А. Верхние выводы. Поворотное соединение $A_3$ | Фаза В. Нижние выводы. Начало $B_1$ | Фаза В. Нижние выводы. Конец $B_4$ | Фаза В. Верхние выводы. Поворотное соединение $B_2$ | Фаза В. Верхние выводы. Поворотное соединение $B_3$ | Фаза С. Нижние выводы. Начало $C_1$ | Фаза С. Нижние выводы. Конец $C_4$ | Фаза С. Верхние выводы. Поворотное соединение $C_2$ | Фаза С. Верхние выводы. Поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 54 | 1 | 15 | 18 | 31 | 37 | 51 | 54 | 13 | 19 | 33 | 36 | 49 | 4 | 9 | 3 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | 81 | 1 | 15 | 18 | 31 | 37 | 51 | 54 | 67 | 19 | 33 | 36 | 49 | 4 | 9 | 3 | — | — | — | 0 | 0 | 27 | 6-22 |
| 8 | 108 | 1 | 15 | 18 | 31 | 37 | 51 | 54 | 67 | 73 | 87 | 90 | 103 | 4 | 9 | 3 | 18 | 18 | 18 | — | — | — | 6-30 |
| 10 | 135 | 1 | 15 | 18 | 31 | 91 | 105 | 108 | 121 | 46 | 60 | 63 | 176 | 4 | 9 | 3 | — | — | — | 27 | 27 | 27 | 6-37 |
| 12 | 162 | 1 | 15 | 18 | 31 | 91 | 105 | 108 | 121 | 46 | 60 | 63 | 76 | 4 | 9 | 3 | — | — | — | 27 | 27 | 54 | |

Таблица 6-8

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ = 5. Задний шаг равен 15 пазовым делениям; передний шаг равен 15 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A: Нижние выводы: начало $A_1$ | Фаза A: Нижние выводы: конец $A_4$ | Фаза A: Верхние выводы: поворотное соединение $A_2$ | Фаза A: Верхние выводы: поворотное соединение $A_3$ | Фаза B: Нижние выводы: начало $B_1$ | Фаза B: Нижние выводы: конец $B_4$ | Фаза B: Верхние выводы: поворотное соединение $B_2$ | Фаза B: Верхние выводы: поворотное соединение $B_3$ | Фаза C: Нижние выводы: начало $C_1$ | Фаза C: Нижние выводы: конец $C_4$ | Фаза C: Верхние выводы: поворотное соединение $C_2$ | Фаза C: Верхние выводы: поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 60 | 1 | 16 | 20 | 35 | 41 | 56 | 60 | 15 | 21 | 36 | 40 | 55 | 4 | 10 | 4 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 90 | 1 | 16 | 20 | 35 | 41 | 56 | 60 | 75 | 21 | 36 | 40 | 55 | 4 | 10 | 4 | — | — | — | 0 | 0 | 30 | 6-23 |
| 8 | 120 | 1 | 16 | 20 | 35 | 41 | 56 | 60 | 75 | 81 | 96 | 100 | 115 | 4 | 10 | 4 | 20 | 20 | 20 | — | — | — | 6-31 |
| 10 | 150 | 1 | 16 | 20 | 35 | 101 | 116 | 120 | 135 | 51 | 66 | 70 | 85 | 4 | 10 | 4 | — | — | — | 30 | 30 | 30 | — |

Таблица 6-9

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ = $5^1/_2$. Задний шаг равен 17 пазовым делениям; передний шаг равен 16 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A: Нижние выводы: начало $A_1$ | Фаза A: Нижние выводы: конец $A_4$ | Фаза A: Верхние выводы: поворотное соединение $A_2$ | Фаза A: Верхние выводы: поворотное соединение $A_3$ | Фаза B: Нижние выводы: начало $B_1$ | Фаза B: Нижние выводы: конец $B_4$ | Фаза B: Верхние выводы: поворотное соединение $B_2$ | Фаза B: Верхние выводы: поворотное соединение $B_3$ | Фаза C: Нижние выводы: начало $C_1$ | Фаза C: Нижние выводы: конец $C_4$ | Фаза C: Верхние выводы: поворотное соединение $C_2$ | Фаза C: Верхние выводы: поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 66 | 1 | 18 | 22 | 38 | 45 | 62 | 66 | 16 | 23 | 40 | 44 | 60 | 5 | 11 | 4 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 99 | 1 | 18 | 22 | 38 | 45 | 62 | 66 | 72 | 23 | 40 | 44 | 60 | 5 | 11 | 4 | — | — | — | 0 | 0 | 33 | — |
| 8 | 132 | 1 | 18 | 22 | 38 | 45 | 62 | 66 | 82 | 89 | 106 | 110 | 126 | 5 | 11 | 4 | 22 | 22 | 22 | — | — | — | — |
| 10 | 165 | 1 | 18 | 22 | 38 | 111 | 128 | 132 | 148 | 56 | 73 | 77 | 93 | 5 | 11 | 4 | — | — | — | 33 | 33 | 33 | — |

Таблица 6-10

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ = 6. Задний шаг равен 18 пазовым делениям; передний шаг равен 18 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A. Нижние выводы. начало $A_1$ | Фаза A. Нижние выводы. конец $A_4$ | Фаза A. Верхние выводы. поворотное соединение $A_2$ | Фаза A. Верхние выводы. поворотное соединение $A_3$ | Фаза B. Нижние выводы. начало $B_1$ | Фаза B. Нижние выводы. конец $B_4$ | Фаза B. Верхние выводы. поворотное соединение $B_2$ | Фаза B. Верхние выводы. поворотное соединение $B_3$ | Фаза C. Нижние выводы. начало $C_1$ | Фаза C. Нижние выводы. конец $C_4$ | Фаза C. Верхние выводы. поворотное соединение $C_2$ | Фаза C. Верхние выводы. поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 72 | 1 | 19 | 24 | 42 | 49 | 67 | 72 | 18 | 25 | 43 | 48 | 64 | 5 | 12 | 5 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 108 | 1 | 19 | 24 | 42 | 49 | 67 | 72 | 90 | 25 | 43 | 48 | 64 | 5 | 12 | 5 | — | — | — | 0 | 0 | 36 | 6-24 |
| 8 | 144 | 1 | 19 | 24 | 42 | 49 | 67 | 72 | 90 | 97 | 115 | 120 | 138 | 5 | 12 | 5 | 24 | 24 | 24 | — | — | — | — |

Таблица 6-11

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ = 7. Задний шаг равен 21 пазовому делению; передний шаг равен 21 пазовому делению**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A. Нижние выводы. начало $A_1$ | Фаза A. Нижние выводы. конец $A_4$ | Фаза A. Верхние выводы. поворотное соединение $A_2$ | Фаза A. Верхние выводы. поворотное соединение $A_3$ | Фаза B. Нижние выводы. начало $B_1$ | Фаза B. Нижние выводы. конец $B_4$ | Фаза B. Верхние выводы. поворотное соединение $B_2$ | Фаза B. Верхние выводы. поворотное соединение $B_3$ | Фаза C. Нижние выводы. начало $C_1$ | Фаза C. Нижние выводы. конец $C_4$ | Фаза C. Верхние выводы. поворотное соединение $C_2$ | Фаза C. Верхние выводы. поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 84 | 1 | 22 | 23 | 49 | 57 | 78 | 84 | 21 | 29 | 50 | 56 | 77 | 6 | 14 | 6 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 126 | 1 | 22 | 28 | 49 | 57 | 78 | 84 | 105 | 29 | 50 | 56 | 77 | 6 | 14 | 6 | — | — | — | 0 | 0 | 42 | — |
| 8 | 168 | 1 | 22 | 23 | 49 | 57 | 78 | 84 | 105 | 113 | 134 | 140 | 161 | 6 | 14 | 6 | 23 | 28 | 28 | — | — | — | — |

Таблица 6-12

**Таблица соединений для обмоток с укороченными переходами при ППФ = 8. Задний шаг равен 24 пазовым делениям; передний шаг равен 24 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A: Нижние выводы, начало $A_1$ | Фаза A: Нижние выводы, конец $A_4$ | Фаза A: Верхние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A: Верхние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B: Нижние выводы, начало $B_1$ | Фаза B: Нижние выводы, конец $B_4$ | Фаза B: Верхние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B: Верхние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C: Нижние выводы, начало $C_1$ | Фаза C: Нижние выводы, конец $C_4$ | Фаза C: Верхние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C: Верхние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_4$, $B_2$ и $B_4$, $C_2$ и $C_4$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_4$ и $A_3$, $B_4$ и $B_3$, $C_4$ и $C_3$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $A_1$ | $A_3$ и $C_1$ | $C_3$ и $B_1$ | $B_3$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 96 | 1 | 25 | 32 | 56 | 65 | 89 | 96 | 120 | 33 | 57 | 64 | 88 | 7 | 16 | 7 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 144 | 1 | 25 | 32 | 56 | 65 | 89 | 96 | 120 | 33 | 57 | 64 | 63 | 7 | 16 | 7 | — | — | — | 0 | 0 | 48 | — |
| 8 | 192 | 1 | 25 | 32 | 56 | 65 | 89 | 96 | 120 | 129 | 153 | 160 | 184 | 7 | 16 | 7 | 32 | 32 | 32 | — | — | — | — |

Таблица 6-13

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ = $1^1/_2$. Задний шаг равен 5 пазовым делениям; передний шаг равен 4 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A: Верхние выводы, начало $A_1$ | Фаза A: Верхние выводы, конец $A_4$ | Фаза A: Нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A: Нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B: Верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B: Верхние выводы, конец $B_4$ | Фаза B: Нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B: Нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C: Верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C: Верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C: Нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C: Нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 18 | 1 | 6 | 15 | 1 | 13 | 18 | 9 | 13 | 7 | 12 | 3 | 7 | 0 | 3 | 1 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 27 | 1 | 6 | 24 | 1 | 13 | 18 | 9 | 13 | 7 | 12 | 3 | 7 | 0 | 3 | 1 | — | — | — | 0 | 0 | 3 | — |
| 8 | 36 | 1 | 6 | 33 | 1 | 13 | 18 | 9 | 13 | 25 | 30 | 21 | 25 | 0 | 3 | 1 | 6 | 6 | 6 | — | — | — | — |
| 10 | 45 | 1 | 6 | 42 | 1 | 31 | 36 | 27 | 31 | 16 | 21 | 12 | 16 | 0 | 3 | 1 | — | — | — | 9 | 9 | 9 | — |
| 12 | 54 | 1 | 6 | 51 | 1 | 3 | 36 | 27 | 31 | 16 | 21 | 12 | 16 | 0 | 3 | 1 | — | — | — | 9 | 9 | 18 | — |
| 14 | 63 | 1 | 6 | 60 | 1 | 22 | 27 | 18 | 22 | 43 | 48 | 39 | 43 | 0 | 3 | 1 | 15 | 15 | 15 | — | — | — | — |

*Продолжение табл. 6-13*

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A: Верхние выводы: начало $A_1$ | Фаза A: Верхние выводы: конец $A_4$ | Фаза A: Нижние выводы: поворотное соединение $A_2$ | Фаза A: Нижние выводы: поворотное соединение $A_3$ | Фаза B: Верхние выводы: начало $B_1$ | Фаза B: Верхние выводы: конец $B_4$ | Фаза B: Нижние выводы: поворотное соединение $B_2$ | Фаза B: Нижние выводы: поворотное соединение $B_3$ | Фаза C: Верхние выводы: начало $C_1$ | Фаза C: Верхние выводы: конец $C_4$ | Фаза C: Нижние выводы: поворотное соединение $C_2$ | Фаза C: Нижние выводы: поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_1$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 72 | 1 | 6 | 69 | 1 | 49 | 54 | 45 | 49 | 25 | 30 | 21 | 25 | 0 | 3 | 1 | — | — | — | 18 | 18 | 18 | — |
| 18 | 81 | 1 | 6 | 78 | 1 | 49 | 54 | 45 | 49 | 25 | 30 | 21 | 25 | 0 | 3 | 1 | — | — | — | 18 | 18 | 27 | — |
| 20 | 90 | 1 | 6 | 87 | 1 | 31 | 36 | 27 | 31 | 61 | 66 | 57 | 61 | 0 | 3 | 1 | 24 | 24 | 24 | — | — | — | — |
| 22 | 99 | 1 | 6 | 96 | 1 | 67 | 72 | 63 | 67 | 34 | 39 | 30 | 34 | 0 | 3 | 1 | — | — | — | 27 | 27 | 27 | — |
| 24 | 103 | 1 | 6 | 105 | 1 | 67 | 72 | 63 | 67 | 34 | 39 | 30 | 34 | 0 | 3 | 1 | — | — | — | 27 | 27 | 36 | — |

Таблица 6-14

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ = 2. Задний шаг равен 6 пазовым делениям; передний шаг равен 6 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A: Верхние выводы: начало $A_1$ | Фаза A: Верхние выводы: конец $A_4$ | Фаза A: Нижние выводы: поворотное соединение $A_2$ | Фаза A: Нижние выводы: поворотное соединение $A_3$ | Фаза B: Верхние выводы: начало $B_1$ | Фаза B: Верхние выводы: конец $B_4$ | Фаза B: Нижние выводы: поворотное соединение $B_2$ | Фаза B: Нижние выводы: поворотное соединение $B_3$ | Фаза C: Верхние выводы: начало $C_1$ | Фаза C: Верхние выводы: конец $C_4$ | Фаза C: Нижние выводы: поворотное соединение $C_2$ | Фаза C: Нижние выводы: поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 24 | 1 | 8 | 20 | 1 | 17 | 24 | 12 | 17 | 9 | 16 | 4 | 9 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 36 | 1 | 8 | 32 | 1 | 17 | 24 | 12 | 17 | 9 | 16 | 4 | 9 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 0 | 0 | 12 | 6-65 |
| 8 | 48 | 1 | 8 | 44 | 1 | 17 | 24 | 12 | 17 | 33 | 40 | 23 | 33 | 1 | 4 | 1 | 8 | 8 | 8 | — | — | — | 6-73 |
| 10 | 60 | 1 | 8 | 56 | 1 | 41 | 48 | 36 | 41 | 21 | 23 | 16 | 21 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 12 | 12 | 12 | 6-80 |
| 12 | 72 | 1 | 8 | 63 | 1 | 41 | 48 | 36 | 41 | 21 | 28 | 16 | 21 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 12 | 12 | 24 | 6-86 |
| 14 | 84 | 1 | 8 | 80 | 1 | 29 | 36 | 24 | 29 | 57 | 64 | 52 | 57 | 1 | 4 | 1 | 20 | 20 | 20 | — | — | — | 6-91 |

*Продолжение табл. 6-14*

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A: Верхние выводы: начало $A_1$ | Фаза A: Верхние выводы: конец $A_4$ | Фаза A: Нижние выводы: поворотное соединение $A_2$ | Фаза A: Нижние выводы: поворотное соединение $A_3$ | Фаза B: Верхние выводы: начало $B_1$ | Фаза B: Верхние выводы: конец $B_4$ | Фаза B: Нижние выводы: поворотное соединение $B_2$ | Фаза B: Нижние выводы: поворотное соединение $B_3$ | Фаза C: Верхние выводы: начало $C_1$ | Фаза C: Верхние выводы: конец $C_4$ | Фаза C: Нижние выводы: поворотное соединение $C_2$ | Фаза C: Нижние выводы: поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 96 | 1 | 8 | 92 | 1 | 65 | 72 | 60 | 65 | 33 | 40 | 28 | 33 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 24 | 24 | 24 | 6-96 |
| 18 | 108 | 1 | 8 | 104 | 1 | 65 | 72 | 60 | 65 | 33 | 40 | 28 | 33 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 24 | 24 | 36 | 6-100 |
| 20 | 120 | 1 | 8 | 116 | 1 | 41 | 48 | 36 | 41 | 81 | 88 | 76 | 81 | 1 | 4 | 1 | 32 | 32 | 32 | — | — | — | 6-104 |
| 22 | 132 | 1 | 8 | 123 | 1 | 89 | 96 | 84 | 89 | 45 | 52 | 40 | 45 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 36 | 36 | 36 | 6-107 |
| 24 | 144 | 1 | 8 | 140 | 1 | 89 | 96 | 84 | 89 | 45 | 52 | 40 | 45 | 1 | 4 | 1 | — | — | — | 36 | 36 | 48 | 6-110 |



Таблица 6-15

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при $П_{пФ} = 2^1/_2$.**

**Задний шаг равен 8 пазовым делениям; передний шаг равен 7 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A: Верхние выводы: начало $A_1$ | Фаза A: Верхние выводы: конец $A_4$ | Фаза A: Нижние выводы: поворотное соединение $A_2$ | Фаза A: Нижние выводы: поворотное соединение $A_3$ | Фаза B: Верхние выводы: начало $B_1$ | Фаза B: Верхние выводы: конец $B_4$ | Фаза B: Нижние выводы: поворотное соединение $B_2$ | Фаза B: Нижние выводы: поворотное соединение $B_3$ | Фаза C: Верхние выводы: начало $C_1$ | Фаза C: Верхние выводы: конец $C_4$ | Фаза C: Нижние выводы: поворотное соединение $C_2$ | Фаза C: Нижние выводы: поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 30 | 1 | 10 | 25 | 1 | 21 | 30 | 15 | 21 | 11 | 20 | 5 | 11 | 1 | 5 | 2 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 45 | 1 | 10 | 40 | 1 | 21 | 30 | 15 | 21 | 11 | 20 | 5 | 11 | 1 | 5 | 2 | — | — | — | 0 | 0 | 15 | 6-66 |
| 8 | 60 | 1 | 10 | 55 | 1 | 21 | 30 | 15 | 21 | 41 | 50 | 35 | 41 | 1 | 5 | 2 | 10 | 10 | 10 | — | — | — | 6-74 |
| 10 | 75 | 1 | 10 | 70 | 1 | 51 | 60 | 45 | 51 | 26 | 35 | 20 | 26 | 1 | 5 | 2 | — | — | — | 15 | 15 | 15 | 6-81 |
| 12 | 90 | 1 | 10 | 85 | 1 | 51 | 60 | 45 | 51 | 26 | 35 | 20 | 26 | 1 | 5 | 2 | — | — | — | 15 | 15 | 30 | 6-87 |
| 14 | 105 | 1 | 10 | 100 | 1 | 36 | 45 | 30 | 36 | 71 | 80 | 65 | 71 | 1 | 5 | 2 | 25 | 25 | 25 | — | — | — | 6-92 |
| 16 | 120 | 1 | 10 | 115 | 1 | 81 | 90 | 75 | 81 | 41 | 50 | 35 | 41 | 1 | 5 | 2 | — | — | — | 30 | 30 | 30 | 6-97 |
| 18 | 135 | 1 | 10 | 130 | 1 | 81 | 90 | 75 | 81 | 41 | 50 | 35 | 41 | 1 | 5 | 2 | — | — | — | 30 | 30 | 45 | 6-101 |
| 20 | 150 | 1 | 10 | 145 | 1 | 51 | 60 | 45 | 51 | 101 | 110 | 95 | 101 | 1 | 5 | 2 | 40 | 40 | 40 | — | — | — | 6-105 |
| 22 | 165 | 1 | 10 | 160 | 1 | 111 | 120 | 105 | 111 | 56 | 64 | 50 | 56 | 1 | 5 | 2 | — | — | — | 45 | 45 | 45 | 6-108 |
| 24 | 180 | 1 | 10 | 175 | 1 | 111 | 120 | 105 | 111 | 56 | 64 | 50 | 56 | 1 | 5 | 2 | — | — | — | 45 | 45 | 60 | 6-111 |

Таблица 6-16

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ = 3.**

**Задний шаг равен 9 пазовым делениям; передний шаг равен 9 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A, Верхние вывод, начало $A_1$ | Фаза A, Верхние вывод, конец $A_4$ | Фаза A, Нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A, Нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B, Верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B, Верхние выводы, конец $B_4$ | Фаза B, Нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B, Нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C, Верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C, Верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C, Нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C, Нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 36 | 1 | 12 | 30 | 1 | 25 | 36 | 18 | 25 | 13 | 24 | 6 | 13 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 54 | 1 | 12 | 48 | 1 | 25 | 36 | 18 | 25 | 13 | 24 | 6 | 13 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 0 | 0 | 18 | 6-67 |
| 8 | 72 | 1 | 12 | 66 | 1 | 25 | 36 | 18 | 25 | 49 | 60 | 42 | 49 | 2 | 6 | 2 | 12 | 12 | 12 | — | — | — | 6-75 |
| 10 | 90 | 1 | 12 | 84 | 1 | 61 | 72 | 54 | 61 | 31 | 42 | 24 | 31 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 18 | 18 | 18 | 6-82 |
| 12 | 108 | 1 | 12 | 102 | 1 | 61 | 72 | 54 | 61 | 31 | 42 | 24 | 31 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 18 | 18 | 36 | 6-88 |
| 14 | 126 | 1 | 12 | 120 | 1 | 43 | 54 | 36 | 43 | 85 | 96 | 78 | 85 | 2 | 6 | 2 | 30 | 30 | 30 | — | — | — | 6-93 |
| 16 | 144 | 1 | 12 | 138 | 1 | 97 | 108 | 90 | 97 | 49 | 60 | 42 | 49 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 36 | 36 | 36 | 6-98 |
| 18 | 162 | 1 | 12 | 156 | 1 | 97 | 108 | 90 | 97 | 49 | 60 | 42 | 49 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 36 | 36 | 54 | 6-102 |
| 20 | 180 | 1 | 12 | 174 | 1 | 61 | 72 | 54 | 61 | 121 | 132 | 114 | 121 | 2 | 6 | 2 | 48 | 48 | 48 | — | — | — | 6-106 |
| 22 | 198 | 1 | 12 | 192 | 1 | 133 | 144 | 126 | 133 | 67 | 78 | 60 | 67 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 54 | 54 | 54 | 6-109 |
| 24 | 216 | 1 | 12 | 210 | 1 | 133 | 144 | 126 | 133 | 67 | 78 | 60 | 67 | 2 | 6 | 2 | — | — | — | 54 | 54 | 72 | 6-112 |

Таблица 6-17

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ = $3^1/_2$.**

**Задний шаг равен 11 пазовым делениям; передний шаг равен 10 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A, Верхние выводы, начало $A_1$ | Фаза A, Верхние выводы, конец $A_4$ | Фаза A, Нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A, Нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B, Верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B, Верхние выводы, конец $B_4$ | Фаза B, Нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B, Нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C, Верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C, Верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C, Нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C, Нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 42 | 1 | 14 | 35 | 1 | 29 | 42 | 21 | 29 | 15 | 23 | 7 | 15 | 2 | 7 | 3 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 63 | 1 | 14 | 56 | 1 | 29 | 42 | 21 | 29 | 15 | 23 | 7 | 15 | 2 | 7 | 3 | — | — | — | 0 | 0 | 21 | 6-68 |
| 8 | 84 | 1 | 14 | 77 | 1 | 29 | 42 | 21 | 29 | 57 | 70 | 49 | 57 | 2 | 7 | 3 | 14 | 14 | 14 | — | — | — | 6-76 |
| 10 | 105 | 1 | 14 | 98 | 1 | 71 | 84 | 63 | 71 | 36 | 49 | 28 | 36 | 2 | 7 | 3 | — | — | — | 21 | 21 | 21 | 6-83 |
| 12 | 126 | 1 | 14 | 119 | 1 | 71 | 84 | 63 | 71 | 36 | 49 | 28 | 36 | 2 | 7 | 3 | — | — | — | 21 | 21 | 42 | 6-89 |
| 14 | 147 | 1 | 14 | 140 | 1 | 50 | 63 | 42 | 50 | 99 | 112 | 91 | 99 | 2 | 7 | 3 | 35 | 35 | 35 | — | — | — | 6-94 |
| 16 | 168 | 1 | 14 | 161 | 1 | 113 | 126 | 105 | 113 | 57 | 70 | 49 | 57 | 2 | 7 | 3 | — | — | — | 42 | 42 | 42 | 6-99 |
| 18 | 189 | 1 | 14 | 182 | 1 | 113 | 126 | 105 | 113 | 57 | 70 | 49 | 57 | 2 | 7 | 3 | — | — | — | 42 | 42 | 63 | 6-103 |

Таблица 6-18

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ = 4.**

**Задний шаг равен 12 пазовым делениям; передний шаг равен 12 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A. Верхние выводы, начало $A_1$ | Фаза A. Верхние выводы, конец $A_4$ | Фаза A. Нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A. Нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B. Верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B. Верхние выводы, конец $B_4$ | Фаза B. Нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B. Нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C. Верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C. Верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C. Нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C. Нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 48 | 1 | 16 | 40 | 1 | 33 | 48 | 24 | 33 | 17 | 32 | 8 | 17 | 3 | 8 | 3 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 72 | 1 | 16 | 64 | 1 | 33 | 48 | 24 | 33 | 17 | 32 | 8 | 17 | 3 | 8 | 3 | — | — | — | 0 | 0 | 24 | 6-69 |
| 8 | 96 | 1 | 16 | 88 | 1 | 33 | 48 | 24 | 33 | 65 | 80 | 56 | 65 | 3 | 8 | 3 | 16 | 16 | 16 | — | — | — | 6-77 |
| 10 | 120 | 1 | 16 | 112 | 1 | 81 | 96 | 72 | 81 | 41 | 56 | 32 | 41 | 3 | 8 | 3 | — | — | — | 24 | 24 | 24 | 6-84 |
| 12 | 144 | 1 | 16 | 136 | 1 | 81 | 96 | 72 | 81 | 41 | 56 | 32 | 41 | 3 | 8 | 3 | — | — | — | 24 | 24 | 48 | 6-90 |
| 14 | 168 | 1 | 16 | 160 | 1 | 57 | 72 | 48 | 57 | 113 | 128 | 104 | 113 | 3 | 8 | 3 | 40 | 40 | 40 | — | — | — | 6-95 |

Таблица 6-19

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ = $4^1/_2$.**

**Задний шаг равен 14 пазовым делениям; передний шаг равен 13 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A. Верхние выводы, начало $A_1$ | Фаза A. Верхние выводы, конец $A_4$ | Фаза A. Нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A. Нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B. Верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B. Верхние выводы, конец $B_4$ | Фаза B. Нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B. Нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C. Верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C. Верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C. Нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C. Нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 54 | 1 | 18 | 45 | 1 | 37 | 54 | 27 | 37 | 19 | 36 | 9 | 19 | 3 | 9 | 4 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 81 | 1 | 18 | 72 | 1 | 37 | 54 | 27 | 37 | 19 | 36 | 9 | 19 | 3 | 9 | 4 | — | — | — | 0 | 0 | 27 | 6-70 |
| 8 | 108 | 1 | 18 | 99 | 1 | 37 | 54 | 27 | 37 | 73 | 90 | 63 | 73 | 3 | 9 | 4 | 18 | 18 | 18 | — | — | — | 6-78 |
| 10 | 135 | 1 | 18 | 126 | 1 | 91 | 108 | 81 | 91 | 46 | 63 | 36 | 46 | 3 | 9 | 4 | — | — | — | 27 | 27 | 27 | 6-85 |
| 12 | 162 | 1 | 18 | 153 | 1 | 91 | 108 | 81 | 91 | 46 | 63 | 36 | 46 | 3 | 9 | 4 | — | — | — | 27 | 27 | 54 | — |

Таблица 6-20

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ=5.**

**Задний шаг равен 15 пазовым делениям; передний шаг равен 15 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A, верхние выводы, начало $A_1$ | Фаза A, верхние выводы, конец $A_4$ | Фаза A, нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A, нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B, верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B, верхние выводы, конец $B_4$ | Фаза B, нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B, нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C, верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C, верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C, нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C, нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 60 | 1 | 20 | 50 | 1 | 41 | 60 | 30 | 41 | 21 | 40 | 10 | 21 | 4 | 10 | 4 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 90 | 1 | 20 | 80 | 1 | 41 | 60 | 30 | 41 | 21 | 40 | 10 | 21 | 4 | 10 | 4 | — | — | — | 0 | 0 | 30 | 6-71 |
| 8 | 120 | 1 | 20 | 110 | 1 | 41 | 60 | 30 | 41 | 81 | 100 | 70 | 81 | 4 | 10 | 4 | 20 | 20 | 20 | — | — | — | 6-79 |
| 10 | 150 | 1 | 20 | 140 | 1 | 101 | 120 | 90 | 101 | 51 | 70 | 40 | 51 | 4 | 10 | 4 | — | — | — | 30 | 30 | 30 | — |

Таблица 6-21

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ=$5^1/_2$.**

**Задний шаг равен 17 пазовым делениям; передний шаг равен 16 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A, верхние выводы, начало $A_1$ | Фаза A, верхние выводы, конец $A_4$ | Фаза A, нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A, нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B, верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B, верхние выводы, конец $B_1$ | Фаза B, нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B, нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C, верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C, верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C, нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C, нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 66 | 1 | 22 | 55 | 1 | 45 | 66 | 33 | 45 | 23 | 44 | 11 | 23 | 4 | 11 | 5 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 99 | 1 | 22 | 88 | 1 | 45 | 66 | 33 | 45 | 23 | 44 | 11 | 23 | 4 | 11 | 5 | — | — | — | 0 | 0 | 33 | — |
| 8 | 132 | 1 | 22 | 121 | 1 | 45 | 66 | 33 | 45 | 89 | 110 | 77 | 89 | 4 | 11 | 5 | 22 | 22 | 22 | — | — | — | — |
| 10 | 165 | 1 | 22 | 154 | 1 | 111 | 132 | 99 | 111 | 56 | 77 | 44 | 56 | 4 | 11 | 5 | — | — | — | 33 | 33 | 33 | — |

Таблица 6-22

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ=6.**

**Задний шаг равен 18 пазовым делениям; передний шаг равен 18 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A, верхние выводы, начало $A_1$ | Фаза A, верхние выводы, конец $A_4$ | Фаза A, нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A, нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B, верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B, верхние выводы, конец $B_4$ | Фаза B, нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B, нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C, верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C, верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C, нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C, нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 72 | 1 | 24 | 60 | 1 | 49 | 72 | 36 | 49 | 25 | 48 | 12 | 25 | 5 | 12 | 5 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 108 | 1 | 24 | 96 | 1 | 49 | 72 | 36 | 49 | 25 | 48 | 12 | 25 | 5 | 12 | 5 | — | — | — | 0 | 0 | 36 | 6-72 |
| 8 | 144 | 1 | 24 | 132 | 1 | 49 | 72 | 36 | 49 | 97 | 120 | 84 | 97 | 5 | 12 | 5 | 24 | 24 | 24 | — | — | — | — |



Таблица 6-2[illegible]

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ=7.**

**Задний шаг равен 21 пазовому делению; передний шаг равен 21 пазовому делению**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A, верхние выводы, начало $A_1$ | Фаза A, верхние выводы, конец $A_4$ | Фаза A, нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A, нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B, верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B, верхние выводы, конец $B_4$ | Фаза B, нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B, нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C, верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C, верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C, нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C, нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 84 | 1 | 28 | 70 | 1 | 57 | 84 | 42 | 57 | 29 | 56 | 14 | 29 | 6 | 14 | 6 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 126 | 1 | 28 | 112 | 1 | 57 | 84 | 42 | 57 | 29 | 56 | 14 | 29 | 6 | 14 | 6 | — | — | — | 0 | 0 | 42 | — |
| 8 | 168 | 1 | 28 | 154 | 1 | 57 | 84 | 42 | 57 | 113 | 140 | 98 | 113 | 6 | 14 | 6 | 28 | 28 | 28 | — | — | — | — |

Таблица 6-24

**Таблица соединений для обмоток с удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части при ППФ=8.**

**Задний шаг равен 24 пазовым делениям; передний шаг равен 24 пазовым делениям**

| Число полюсов | Число пазов | Фаза A, Верхние выводы, начало $A_1$ | Фаза A, Верхние выводы, конец $A_4$ | Фаза A, Нижние выводы, поворотное соединение $A_2$ | Фаза A, Нижние выводы, поворотное соединение $A_3$ | Фаза B, Верхние выводы, начало $B_1$ | Фаза B, Верхние выводы, конец $B_4$ | Фаза B, Нижние выводы, поворотное соединение $B_2$ | Фаза B, Нижние выводы, поворотное соединение $B_3$ | Фаза C, Верхние выводы, начало $C_1$ | Фаза C, Верхние выводы, конец $C_4$ | Фаза C, Нижние выводы, поворотное соединение $C_2$ | Фаза C, Нижние выводы, поворотное соединение $C_3$ | Число соединений с удлиненными передними шагами между $A_1$ и $A_2$, $B_1$ и $B_2$, $C_1$ и $C_2$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_2$ и $A_3$, $B_2$ и $B_3$, $C_2$ и $C_3$ | Число соединений с укороченными передними шагами между $A_3$ и $A_4$, $B_3$ и $B_4$, $C_3$ и $C_4$ | Число соединений с нормальными передними шагами между $A_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $A_1$ | $A_4$ и $C_1$ | $C_4$ и $B_1$ | $B_4$ и $A_1$ | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 96 | 1 | 32 | 80 | 1 | 65 | 96 | 48 | 65 | 33 | 64 | 16 | 33 | 7 | 16 | 7 | — | — | — | 0 | 0 | 0 | — |
| 6 | 144 | 1 | 32 | 128 | 1 | 65 | 96 | 48 | 65 | 33 | 64 | 16 | 33 | 7 | 16 | 7 | — | — | — | 0 | 0 | 48 | — |
| 8 | 192 | 1 | 32 | 176 | 1 | 65 | 96 | 48 | 65 | 129 | 160 | 112 | 129 | 7 | 16 | 7 | 32 | 32 | 32 | — | — | — | — |



Таблица 6-25

**Таблица распределения нижних проводников для ППФ=$1^1/_2$**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | | Фаза C | | Фаза B | | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | | 4 | 5 | ↑ |
| | | 6 | | 7 | 8 | 9 | | ↓ |
| | | 10 | 11 | 12 | | 13 | 14 | ↑ |
| 18 | 4 | 15 | | 16 | 17 | 18 | | ↓ |
| | | 19 | 20 | 21 | | 22 | 23 | ↑ |
| | 6 | 24 | | 25 | 26 | 27 | | ↓ |
| | | 28 | 29 | 30 | | 31 | 32 | ↑ |
| 36 | 8 | 33 | | 34 | 35 | 36 | | ↓ |
| | | 37 | 38 | 39 | | 40 | 41 | ↑ |
| 45 | 10 | 42 | | 43 | 44 | 45 | | ↓ |
| | | 46 | 47 | 48 | | 49 | 50 | ↑ |
| 54 | 12 | 51 | | 52 | 53 | 54 | | ↓ |
| | | 55 | 56 | 57 | | 58 | 59 | ↑ |
| 63 | 14 | 60 | | 61 | 62 | 63 | | ↓ |
| | | 64 | 65 | 66 | | 67 | 68 | ↑ |
| 72 | 16 | 69 | | 70 | 71 | 72 | | ↓ |
| | | 73 | 74 | 75 | | 76 | 77 | ↑ |
| 81 | 18 | 78 | | 79 | 80 | 81 | | ↓ |
| | | 82 | 83 | 84 | | 85 | 86 | ↑ |
| 90 | 20 | 87 | | 88 | 89 | 90 | | ↓ |
| | | 91 | 92 | 93 | | 94 | 95 | ↑ |
| 99 | 22 | 96 | | 97 | 98 | 99 | | ↓ |
| | | 100 | 101 | 102 | | 103 | 104 | ↑ |
| 108 | 24 | 105 | | 106 | 107 | 108 | | ↓ |

Таблица 6-26

**Таблица распределения верхних проводников для ППФ=$1^1/_2$**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | | Фаза C | | Фаза B | | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | | 2 | 3 | 4 | | ↑ |
| | | 5 | 6 | 7 | | 8 | 9 | ↓ |
| | | 10 | | 11 | 12 | 13 | | ↑ |
| 18 | 4 | 14 | 15 | 16 | | 17 | 18 | ↓ |
| | | 19 | | 20 | 21 | 22 | | ↑ |
| 27 | 6 | 23 | 24 | 25 | | 26 | 27 | ↓ |
| | | 28 | | 29 | 30 | 31 | | ↑ |
| 36 | 8 | 32 | 33 | 34 | | 35 | 36 | ↓ |
| | | 37 | | 38 | 39 | 40 | | ↑ |
| 45 | 10 | 41 | 42 | 43 | | 44 | 45 | ↓ |
| | | 46 | | 47 | 48 | 49 | | ↑ |
| 54 | 12 | 50 | 51 | 52 | | 53 | 54 | ↓ |
| | | 55 | | 56 | 57 | 58 | | ↑ |
| 63 | 14 | 59 | 60 | 61 | | 62 | 63 | ↓ |
| | | 64 | | 65 | 66 | 67 | | ↑ |
| 72 | 16 | 68 | 69 | 70 | | 71 | 72 | ↓ |
| | | 73 | | 74 | 75 | 76 | | ↑ |
| 81 | 18 | 77 | 78 | 79 | | 80 | 81 | ↓ |
| | | 82 | | 83 | 84 | 85 | | ↑ |
| 90 | 20 | 86 | 87 | 88 | | 89 | 90 | ↓ |
| | | 91 | | 92 | 93 | 94 | | ↑ |
| 99 | 22 | 95 | 96 | 97 | | 98 | 99 | ↓ |
| | | 100 | | 101 | 102 | 103 | | ↑ |
| 108 | 24 | 104 | 105 | 106 | | 107 | 108 | ↓ |

Таблица 6-27

**Таблица распределения верхних и нижних проводников для ППФ=2**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | Фаза C | Фаза B | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 2 | 3 4 | 5 6 | ↑ |
| | | 7 8 | 9 10 | 11 12 | ↓ |
| | | 13 14 | 15 16 | 17 18 | ↑ |
| 24 | 4 | 19 20 | 21 22 | 23 24 | ↓ |
| | | 25 26 | 27 28 | 29 30 | ↑ |
| 36 | 6 | 31 32 | 33 34 | 35 36 | ↓ |
| | | 37 38 | 39 40 | 41 42 | ↑ |
| 48 | 8 | 43 44 | 45 46 | 47 48 | ↓ |
| | | 49 50 | 51 52 | 53 54 | ↑ |
| 60 | 10 | 55 56 | 57 58 | 59 60 | ↓ |
| | | 61 62 | 63 64 | 65 66 | ↑ |
| 72 | 12 | 67 68 | 69 70 | 71 72 | ↓ |
| | | 73 74 | 75 76 | 77 78 | ↑ |
| 84 | 14 | 79 80 | 81 82 | 83 84 | ↓ |
| | | 85 86 | 87 88 | 89 90 | ↑ |
| 96 | 16 | 91 92 | 93 94 | 95 96 | ↓ |
| | | 97 98 | 99 100 | 101 102 | ↑ |
| 108 | 18 | 103 104 | 105 106 | 107 108 | ↓ |
| | | 109 110 | 111 112 | 113 114 | ↑ |
| 120 | 20 | 115 116 | 117 118 | 119 120 | ↓ |
| | | 121 122 | 123 124 | 125 126 | ↑ |
| 132 | 22 | 127 128 | 129 130 | 131 132 | ↓ |
| | | 133 134 | 135 136 | 137 138 | ↑ |
| 144 | 24 | 139 140 | 141 142 | 143 144 | ↓ |

Таблица 6-28

**Таблица распределения нижних проводников для ППФ=2$^1/_2$**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | Фаза C | Фаза B | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 2 3 | 4 5 | 6 7 8 | ↑ |
| | | 9 10 | 11 12 13 | 14 15 | ↓ |
| | | 16 17 18 | 19 20 | 21 22 23 | ↑ |
| 30 | 4 | 24 25 | 26 27 28 | 29 30 | ↓ |
| | | 31 32 33 | 34 35 | 36 37 38 | ↑ |
| 45 | 6 | 39 40 | 41 42 43 | 44 45 | ↓ |
| | | 46 47 48 | 49 50 | 51 52 53 | ↑ |
| 60 | 8 | 54 55 | 56 57 58 | 59 60 | ↓ |
| | | 61 62 63 | 64 65 | 66 67 68 | ↑ |
| 75 | 10 | 69 70 | 71 72 73 | 74 75 | ↓ |
| | | 76 77 78 | 79 80 | 81 82 83 | ↑ |
| 90 | 12 | 84 85 | 86 87 88 | 89 90 | ↓ |
| | | 91 92 93 | 94 95 | 96 97 98 | ↑ |
| 105 | 14 | 99 100 | 101 102 103 | 104 105 | ↓ |
| | | 106 107 108 | 109 110 | 111 112 113 | ↑ |
| 120 | 16 | 114 115 | 116 117 118 | 119 120 | ↓ |
| | | 121 122 123 | 124 125 | 126 127 128 | ↑ |
| 135 | 18 | 129 130 | 131 132 133 | 134 135 | ↓ |
| | | 136 137 138 | 139 140 | 141 142 143 | ↑ |
| 150 | 20 | 144 145 | 146 147 148 | 149 150 | ↓ |
| | | 151 152 153 | 154 155 | 156 157 158 | ↑ |
| 165 | 22 | 159 160 | 161 162 163 | 164 165 | ↓ |
| | | 166 167 168 | 169 170 | 171 172 173 | ↑ |
| 180 | 24 | 174 175 | 176 177 178 | 179 180 | ↓ |



Таблица 6-29

**Таблица распределения верхних проводников для ППФ=2$^1/_2$**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | Фаза C | Фаза B | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 2 | 3 4 5 | 6 7 | ↑ |
| | | 8 9 10 | 11 12 | 13 14 15 | ↓ |
| | | 16 17 | 18 19 20 | 21 22 | ↑ |
| 30 | 4 | 23 24 25 | 26 27 | 28 29 30 | ↓ |
| | | 31 32 | 33 34 35 | 36 37 | ↑ |
| 45 | 6 | 38 39 40 | 41 42 | 43 44 45 | ↓ |
| | | 46 47 | 48 49 50 | 51 52 | ↑ |
| 60 | 8 | 53 54 55 | 56 57 | 58 59 60 | ↓ |
| | | 61 62 | 63 64 65 | 66 67 | ↑ |
| 75 | 10 | 68 69 70 | 71 72 | 73 74 75 | ↓ |
| | | 76 77 | 78 79 80 | 81 82 | ↑ |
| 90 | 12 | 83 84 85 | 86 87 | 88 89 90 | ↓ |
| | | 91 92 | 93 94 95 | 96 97 | ↑ |
| 105 | 14 | 98 99 100 | 101 102 | 103 104 105 | ↓ |
| | | 106 107 | 108 109 110 | 111 112 | ↑ |
| 120 | 16 | 113 114 115 | 116 117 | 118 119 120 | ↓ |
| | | 121 122 | 123 124 125 | 126 127 | ↑ |
| 135 | 18 | 128 129 130 | 131 132 | 133 134 135 | ↓ |
| | | 136 137 | 138 139 140 | 141 142 | ↑ |
| 150 | 20 | 143 144 145 | 146 147 | 148 149 150 | ↓ |
| | | 151 152 | 153 154 155 | 156 157 | ↑ |
| 165 | 22 | 158 159 160 | 161 162 | 163 164 165 | ↓ |
| | | 166 167 | 168 169 170 | 171 172 | ↑ |
| 180 | 24 | 173 174 175 | 176 177 | 178 179 180 | ↓ |

Таблица 6-30

**Таблица распределения верхних и нижних проводников для ППФ=3.**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | Фаза C | Фаза B | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 | ↑ |
| | | 10 11 12 | 13 14 15 | 16 17 18 | ↓ |
| | | 19 20 21 | 22 23 24 | 25 26 27 | ↑ |
| 36 | 4 | 28 29 30 | 31 32 33 | 34 35 36 | ↓ |
| | | 37 38 39 | 40 41 42 | 43 44 45 | ↑ |
| 54 | 6 | 46 47 48 | 49 50 51 | 52 53 54 | ↓ |
| | | 55 56 57 | 58 59 60 | 61 62 63 | ↑ |
| 72 | 8 | 64 65 66 | 67 68 69 | 70 71 72 | ↓ |
| | | 73 74 75 | 76 77 78 | 79 80 81 | ↑ |
| 90 | 10 | 82 83 84 | 85 86 87 | 88 89 90 | ↓ |
| | | 91 92 93 | 94 95 96 | 97 98 99 | ↑ |
| 108 | 12 | 100 101 102 | 103 104 105 | 106 107 108 | ↓ |
| | | 109 110 111 | 112 113 114 | 115 116 117 | ↑ |
| 126 | 14 | 118 119 120 | 121 122 123 | 124 125 126 | ↓ |
| | | 127 128 129 | 130 131 132 | 133 134 135 | ↑ |
| 144 | 16 | 136 137 138 | 139 140 141 | 142 143 144 | ↓ |
| | | 145 146 147 | 148 149 150 | 151 152 153 | ↑ |
| 162 | 18 | 154 155 156 | 157 158 159 | 160 161 162 | ↓ |
| | | 163 164 165 | 166 167 168 | 169 170 171 | ↑ |
| 180 | 20 | 172 173 174 | 175 176 177 | 178 179 180 | ↓ |
| | | 181 182 183 | 184 185 186 | 187 188 189 | ↑ |
| 198 | 22 | 190 191 192 | 193 194 195 | 196 197 198 | ↓ |
| | | 199 200 201 | 202 203 204 | 205 206 207 | ↑ |
| 216 | 24 | 208 209 210 | 211 212 213 | 214 215 216 | ↓ |

Таблица 6-31

**Таблица распределения нижних проводников для ППФ=$3^1/_2$**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | Фаза C | Фаза B | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 2 3 4 | 5 6 7 | 8 9 10 11 | ↑ |
| | | 12 13 14 | 15 16 17 18 | 19 20 21 | ↓ |
| | | 22 23 24 25 | 26 27 28 | 29 30 31 32 | ↑ |
| 42 | 4 | 33 34 35 | 36 37 38 39 | 40 41 42 | ↓ |
| | | 43 44 45 46 | 47 48 49 | 50 51 52 53 | ↑ |
| 63 | 6 | 54 55 56 | 57 58 59 60 | 61 62 63 | ↓ |
| | | 64 65 66 67 | 68 69 70 | 71 72 73 74 | ↑ |
| 84 | 8 | 75 76 77 | 78 79 80 81 | 82 83 84 | ↓ |
| | | 85 86 87 88 | 89 90 91 | 92 93 94 95 | ↑ |
| 105 | 10 | 96 97 98 | 99 100 101 102 | 103 104 105 | ↓ |
| | | 106 107 108 109 | 110 111 112 | 113 114 115 116 | ↑ |
| 126 | 12 | 117 118 119 | 120 121 122 123 | 124 125 126 | ↓ |
| | | 127 128 129 130 | 131 132 133 | 134 135 136 137 | ↑ |
| 147 | 14 | 138 139 140 | 141 142 143 144 | 145 146 147 | ↓ |
| | | 148 149 150 151 | 152 153 154 | 155 156 157 158 | ↑ |
| 168 | 16 | 159 160 161 | 162 163 164 165 | 166 167 168 | ↓ |
| | | 169 170 171 172 | 173 174 175 | 176 177 178 179 | ↑ |
| 189 | 18 | 180 181 182 | 183 184 185 186 | 187 188 189 | ↓ |

Таблица 6-32

**Таблица распределения верхних проводников для ППФ=$3^1/_2$**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | Фаза C | Фаза B | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 2 3 | 4 5 6 7 | 8 9 10 | ↑ |
| | | 11 12 13 14 | 15 16 17 | 18 19 20 21 | ↓ |
| | | 22 23 24 | 25 26 27 28 | 29 30 31 | ↑ |
| 42 | 4 | 32 33 34 35 | 36 37 38 | 39 40 41 42 | ↓ |
| | | 43 44 45 | 46 47 48 49 | 50 51 52 | ↑ |
| 63 | 6 | 53 54 55 56 | 57 58 59 | 60 61 62 63 | ↓ |
| | | 64 65 66 | 67 68 69 70 | 71 72 73 | ↑ |
| 84 | 8 | 74 75 76 77 | 78 79 80 | 81 82 83 84 | ↓ |
| | | 85 86 87 | 88 89 90 91 | 92 93 94 | ↑ |
| 105 | 10 | 95 96 97 98 | 99 100 101 | 102 103 104 105 | ↓ |
| | | 106 107 108 | 109 110 111 112 | 113 114 115 | ↑ |
| 126 | 12 | 116 117 118 119 | 120 120 122 | 123 124 125 126 | ↓ |
| | | 127 128 129 | 130 131 132 133 | 134 135 136 | ↑ |
| 147 | 14 | 137 138 139 140 | 141 142 143 | 144 145 146 147 | ↓ |
| | | 148 149 150 | 151 152 153 154 | 155 156 157 | ↑ |
| 168 | 16 | 158 159 160 161 | 162 163 164 | 165 166 167 168 | ↓ |
| | | 169 170 171 | 172 173 174 175 | 176 177 178 | ↑ |
| 189 | 18 | 179 180 181 182 | 183 184 185 | 186 187 188 189 | ↓ |



Таблица 6-33

**Таблица распределения верхних и нижних проводников для ППФ=4**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | Фаза C | Фаза B | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 2 3 4 | 5 6 7 8 | 9 10 11 12 | ↑ |
| | | 13 14 15 16 | 17 18 19 20 | 21 22 23 24 | ↓ |
| | | 25 26 27 28 | 29 30 31 32 | 33 34 35 36 | ↑ |
| 48 | 4 | 37 38 39 40 | 41 42 43 44 | 45 46 47 48 | ↓ |
| | | 49 50 51 52 | 53 54 55 56 | 57 58 59 60 | ↑ |
| 72 | 6 | 61 62 63 64 | 65 66 67 68 | 69 70 71 72 | ↓ |
| | | 73 74 75 76 | 77 78 79 80 | 81 82 83 84 | ↑ |
| 96 | 8 | 85 86 87 88 | 89 90 91 92 | 93 94 95 96 | ↓ |
| | | 97 98 99 100 | 101 102 103 104 | 105 106 107 108 | ↑ |
| 120 | 10 | 109 110 111 112 | 113 114 115 116 | 117 118 119 120 | ↓ |
| | | 121 122 123 124 | 125 126 127 128 | 129 130 131 132 | ↑ |
| 144 | 12 | 133 134 135 136 | 137 138 139 140 | 141 142 143 144 | ↓ |
| | | 145 146 147 148 | 149 150 151 152 | 153 154 155 156 | ↑ |
| 168 | 14 | 157 158 159 160 | 161 162 163 164 | 165 166 167 168 | ↓ |

Таблица 6-34

**Таблица распределения нижних проводников для ППФ=$4^1/_2$**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | Фаза C | Фаза B | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 2 3 4 5 | 6 7 8 9 | 10 11 12 13 14 | ↑ |
| | | 15 16 17 18 | 19 20 21 22 23 | 24 25 26 27 | ↓ |
| | | 28 29 30 31 32 | 33 34 35 36 | 37 38 39 40 41 | ↑ |
| 54 | 4 | 42 43 44 45 | 46 47 48 49 50 | 51 52 53 54 | ↓ |
| | | 55 56 57 58 59 | 60 61 62 63 | 64 65 66 67 68 | ↑ |
| 81 | 6 | 69 70 71 72 | 73 74 75 76 77 | 78 79 80 81 | ↓ |
| | | 82 83 84 85 86 | 87 88 89 90 | 91 92 93 94 95 | ↑ |
| 108 | 8 | 96 97 98 99 | 100 101 102 103 104 | 105 106 107 108 | ↓ |
| | | 109 110 111 112 113 | 114 115 116 117 | 118 119 120 121 122 | ↑ |
| 135 | 10 | 123 124 125 126 | 127 128 129 130 131 | 132 133 134 135 | ↓ |
| | | 136 137 138 139 140 | 141 142 143 144 | 145 146 147 148 149 | ↑ |
| 162 | 12 | 150 151 152 153 | 154 155 156 157 158 | 159 160 161 162 | ↓ |

Таблица 6-35

## Таблица распределения верхних проводников для ППФ=$4^1/_2$

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | | | | | Фаза C | | | | | Фаза B | | | | | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | | ↑ |
| | | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | ↓ |
| | | 28 | 29 | 30 | 31 | | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | ↑ |
| 54 | 4 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | ↓ |
| | | 55 | 56 | 57 | 58 | | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | | ↑ |
| 81 | 6 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | ↓ |
| | | 82 | 83 | 84 | 85 | | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | | ↑ |
| 108 | 8 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | ↓ |
| | | 109 | 110 | 111 | 112 | | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | | ↑ |
| 135 | 10 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | ↓ |
| | | 136 | 137 | 138 | 139 | | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | | ↑ |
| 162 | 12 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | ↓ |

Таблица 6-36

## Таблица распределения верхних и нижних проводников для ППФ=5

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | | | | | Фаза C | | | | | Фаза B | | | | | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | ↑ |
| | | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | ↓ |
| | | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | ↑ |
| 60 | 4 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | ↓ |
| | | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | ↑ |
| 90 | 6 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | ↓ |
| | | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | ↑ |
| 120 | 8 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | ↓ |
| | | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | ↑ |
| 150 | 10 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | ↓ |

Таблица 6-37

## Таблица распределения нижних проводников для ППФ=$5^1/_2$

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | | | | | | Фаза C | | | | | | Фаза B | | | | | | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | ↑ |
| | | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | | ↓ |
| | | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | ↑ |
| 66 | 4 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | | ↓ |
| | | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | ↑ |
| 99 | 6 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | | ↓ |
| | | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | ↑ |
| 132 | 8 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | | ↓ |
| | | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | ↑ |
| 165 | 10 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | | ↓ |

Таблица 6-38

## Таблица распределения верхних проводников для ППФ=$5^1/_2$

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | | | | | | Фаза C | | | | | | Фаза B | | | | | | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | ↑ |
| | | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | ↓ |
| | | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | | ↑ |
| ·66 | 4 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | ↓ |
| | | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | | ↑ |
| 99 | 6 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | ↓ |
| | | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | | ↑ |
| 132 | 8 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | ↓ |
| | | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | | ↑ |
| 165 | 10 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | ↓ |

Таблица 6-39

**Таблица распределения верхних и нижних проводников для ППФ=6**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | | | | | | Фаза C | | | | | | Фаза B | | | | | | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | ↑ |
| | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | ↓ |
| | | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | ↑ |
| 72 | 4 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | ↓ |
| | | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | ↑ |
| 108 | 6 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | ↓ |
| | | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | ↑ |
| 144 | 8 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | ↓ |

Таблица 6-40

**Таблица распределения верхних и нижних проводников для ППФ=7**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | | | | | | | Фаза C | | | | | | | Фаза B | | | | | | | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | ↑ |
| | | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | ↓ |
| | | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | ↑ |
| 84 | 4 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | ↓ |
| | | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | ↑ |
| 126 | 6 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | ↓ |
| | | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | ↑ |
| 168 | 8 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | ↓ |

Таблица 6-41

**Таблица распределения верхних и нижних проводников для ППФ=8**

| Число пазов | Число полюсов | Фаза A | | | | | | | | Фаза C | | | | | | | | Фаза B | | | | | | | | Полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | ↑ |
| | | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | ↓ |
| | | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | ↑ |
| 96 | 4 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | ↓ |
| | | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | ↑ |
| 144 | 6 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | ↓ |
| | | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | ↑ |
| 192 | 8 | 169 | 170 | 171 | 172 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 | 180 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 | 186 | 187 | 188 | 189 | 190 | 191 | 192 | ↓ |

Таблица 6-42

**Соединения в звезду (последовательное), треугольник (последовательное), 2 параллельные звезды и 2 параллельных треугольника**

| Тип соединения | К контактным кольцам или к сети | | | Поворотные соединения | Нулевая точка | См. рис. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | | | |
| *Для ППФ равного целому числу или целому числу+1/2* | | | | | | |
| Звезда (последовательное) | $A_1$ | $B_1$ | $C_1$ | $A_2 \to A_3$ $B_2 \to B_3$ $C_2 \to C_3$ | $A_4 \to B_4 \to C_4$ | 6-117 |
| Треугольник (последовательное) | $A_1 \to B_4$ или $A_1 \to C_4$ | $B_1 \to C_4$ или $B_1 \to A_4$ | $C_1 \to A_4$ или $C_1 \to B_4$ | $A_2 \to A_3$ $B_2 \to B_3$ $C_2 \to C_3$ | . . . . . . . . . | 6-118 |
| *Для ППФ равного целому числу* | | | | | | |
| В 2 параллельные звезды | $A_1 \to A_3$ | $B_1 \to B_3$ | $C_1 \to C_3$ | . . . . . . | $A_2 \to A_4 \to B_2 \to B_4 \to$ $\to C_2 \to C_4$ | 6-119 |
| В 2 параллельных треугольника | $A_1 \to A_3 \to C_2 \to C_4$ или $A_1 \to A_3 \to B_2 \to B_4$ | $B_2 \to B_3 \to A_2 \to A_4$ или $B_1 \to B_3 \to C_2 \to C_4$ | $C_1 \to C_3 \to B_2 \to B_4$ или $C_1 \to C_3 \to A_2 \to A_4$ | . . . . . . . | . . . . . . . . | 6-120 |



# ГЛАВА СЕДЬМАЯ

# СИММЕТРИЧНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

**7-1. Характерные признаки рассматриваемых в главе обмоток.** В данной главе рассматриваются только обмотки с дробным ППФ, например с ППФ$=2^1/_5$, $2^3/_7$, $2^3/_8$ и т. д. Однако не все обмотки с дробным ППФ здесь имеются в виду. Обмотки с ППФ=(целому числу+1/2) были рассмотрены в гл. 6. Из других обмоток с дробным ППФ будут рассматриваться только симметричные обмотки (см. § 4-6), т. е. те, которые имеют знаменатель дроби, не кратный числу фаз 3. Таким образом, например, обмотка с ППФ$=2^5/_6$ исключается из данной главы, так как знаменатель дроби 6 делится на 3. Далее, обмотки, рассматриваемые в данной главе, должны иметь число пазов, кратное числу фаз 3, потому что это также является условием симметрии (см. § 4-6).

В отношении ППФ обмотки данной главы не отличаются от рассмотренных в гл. 4 симметричных петлевых обмоток с тем же самым дробным ППФ и точно такой же группировкой катушек, как здесь (см. табл. 4-2). Однако из-за волнового распределения катушек здесь должны применяться другие правила для соединений между катушками.

Волновые обмотки, рассмотренные в предыдущей главе, т. е. обмотки с ППФ, равным целому числу или (целому числу $+^1/_2$), имеют ряды катушек, каждый из которых состоит из стольких катушек, сколько имеется пар полюсов, и для них необходимо было иметь некоторое число ненормальных передних шагов, чтобы соединить друг с другом ряды катушек. Обмотки, рассматриваемые в данной главе, не имеют ненормальных передних

шагов. Но многие из этих обмоток имеют между частями обмотки больше соединений, чем обмотки с целым числом или целым числом $+{}^1/_2$ пазов на полюс и фазу.

Как следует из основной табл. 3-5, обмотки, включенные в данную главу, настолько многочисленны, что не представлялось возможным дать для всех из них таблицы соединений и рабочие схемы. Поэтому таблицы соединений и рабочие схемы будут даны только для ограниченного числа значений ППФ, а в некоторых параграфах (см. § 7-4—7-10) будут приведены общие методы составления таблицы соединений и рабочей схемы для каждого из ППФ, рассмотренных в данной главе.

Отметим, что последующие таблицы, схемы и общие методы составляются для случаев применения левых катушек, так же как и в предыдущих главах. Далее, предполагается, что на паз приходятся 2 проводника, по 1 в каждом слое. Если число проводников в каждом слое больше 1, то схема обмотки должна составляться для фиктивного числа пазов, которое равно действительному числу пазов, умноженному на число проводников в слое. Тогда значение ППФ определяется по фиктивному числу пазов (см. § 6-6).

**7-2. Таблицы соединений и как ими пользоваться.** Использование таблиц соединений будет пояснено на примерах. Рассмотрим обмотку с 180 пазами и 28 полюсами. Основная табл. 3-5 даст для 180 пазов и 28 полюсов ППФ$=2^1/_7$. При данном значении ППФ обращаемся к таблице соединений 7-7. Каждая фаза состоит из 4 повторяющихся частей, каждая часть имеет 15 катушек. Все части начинаются с верхних проводников и заканчиваются в нижних проводниках и должны быть намотаны в направлении по часовой стрелке. Задний шаг равен 6 пазовым делениям и передний шаг 7 пазовым делениям. Начала каждой повторяющейся части, обозначенные нечетными индексами, и концы каждой повторяющейся части, обозначенные четными индексами, указаны в следующей таблице (см. на стр. 419).

Для составления схемы части обмотки, например, 1 части фазы $A$, лежащей между верхним проводником *1* ($A_1$), и нижним проводником *9* ($A_2$), начинаем с верхнего проводника *1* и соединяем его с нижним проводником (1+ +задний шаг)=1+6=*7*. Затем этот нижний проводник *7* соединяем с верхним проводником (7+передний шаг)= =7+7=*14*, соединяемым далее с нижним проводником



| Фаза A | | Фаза B | | Фаза C | |
|---|---|---|---|---|---|
| Начала | Концы | Начала | Концы | Начала | Концы |
| Верхние проводники | Нижние проводники | Верхние проводники | Нижние проводники | Верхние проводники | Нижние проводники |
| $A_1=1$<br>$A_3=46$<br>$A_5=91$<br>$A_7=136$ | $A_2=9$<br>$A_4=54$<br>$A_6=99$<br>$A_8=144$ | $B_1=31$<br>$B_3=76$<br>$B_5=121$<br>$B_7=166$ | $B_2=39$<br>$B_4=84$<br>$B_6=129$<br>$B_8=174$ | $C_1=16$<br>$C_3=61$<br>$C_5=106$<br>$C_7=151$ | $C_2=24$<br>$C_4=69$<br>$C_6=114$<br>$C_8=159$ |

14+6=*20*. Этот последний проводник соединяем с верхним проводником 20+7=*27*. Таким образом, первые 3 катушки будут соединены последовательно. Продолжаем выполнять соединения, пока все 15 катушек (в общем случае $N$ катушек, где $N$—числитель ППФ) не будут соединены между собой. Повторим то же самое для всех других частей, начиная с проводников $A_3$, $A_5$, $A_7$, $B_1$, $B_3$ и т. д.

Таблица соединений 7-7 также дает полные указания относительно соединений между частями каждой фазы и между фазами для соединений последовательного, параллельного, в звезду и треугольник. Если, например, требуется 2 параллельные ветви при соединении в звезду, то должны быть сделаны следующие соединения в 3 фазах:

$$\begin{array}{llll} A_1\to A_8 & A_2\to A_4 & A_5\to A_7 & A_3\to A_6 \\ B_4\to B_5 & B_1\to B_3 & B_6\to B_8 & B_2\to B_7 \\ C_2\to C_3 & C_1\to C_7 & C_4\to C_6 & C_5\to C_8 \end{array}$$

Проводники $A_3\to A_6$, $B_2\to B_7$ и $C_5\to C_8$ присоединяются к нулевой точке, а проводники $A_1\to A_8$, $B_4\to B_5$ и $C_2\to C_3$—к сети или контактным кольцам. Так как каждая фаза имеет 4 повторяющиеся части, то максимальное возможное число параллельных ветвей равно 4.

В рассмотренном примере все части имели одинаковые числа катушек. Не всегда так бывает. Обратимся к таблице соединений 7-34 для ППФ$=2^3/_8$. При 16 полюсах эта обмотка имеет 4 части на фазу; 2 из них в фазе $A$ обозначены $A1_1$—$A1_2$ и $A1_3$—$A1_4$, а 2 другие—$A2_1$—$A2_2$ и $A2_3$—$A2_4$. Как указывается в таблице, части, обозначенные через $A1$, имеют по 10 катушек, а части, обозначенные через $A2$, имеют только по 9 катушек.

**7-3. Рабочие схемы.** Рабочие схемы подобны рассмотренным в гл. 6. В гл. 6 начало и конец одного и того

же ряда катушек являлись отправными точками, тогда как в данной главе отправные точки — это начало ряда катушек фазы *A* и конец ряда катушек фазы *B*. Как и в гл. 6, короткие радиальные линии изображают хомутики; числа между выводами, представляющими собой начала и концы частей обмотки, соответствуют числам лежащих между ними хомутиков или катушек. Надлежащие соединения между частями для соединений последовательного, параллельного, в звезду или треугольник указываются в соответствующей таблице соединений.

Рабочие схемы гл. 6 состоят из 2 частей на фазу, в данной же главе рассматриваются рабочие схемы с числом частей на фазу, изменяющимся от 2 до 8, что делает их более сложными. В гл. 6 начала и концы частей были начерчены внутри концентрических окружностей, условно изображающих катушки или хомутики. Для наглядности на рабочих схемах данной главы начала и концы от верхних проводников указываются вне 2 концентрических окружностей, а от нижних проводников — внутри этих окружностей.

Рис. 7-1—7-43, на которых представлены рабочие схемы и полные схемы обмоток, приведены в конце данной главы.

На рис. 7-44 указан метод определения отмечаемых (отправных) точек рабочей схемы для положительного $a$, на рис. 7-45 — для отрицательного $a$. Метод составления рабочей схемы по рис. 7-44 при помощи таблиц соединений поясним на примере. При этом может быть использована таблица соединений 7-30 для 96 пазов, 14 полюсов и ППФ$=2^2/_7$. Таблица указывает, что $a=+2$ и что задний шаг равен переднему шагу равен 7 пазовым делениям. Начала — верхние проводники, концы — нижние проводники. Для рис. 7-44 $A1_1$ — верхний проводник паза *1*, который соединяется с нижним проводником паза 1+задний шаг$=$ $=1+7=8$. Конец ряда катушек фазы *B* — в пазу (1+число пазов) — передний шаг$=(1+96)-7=90$. Из таблицы соединений следует, что это — нижний вывод $B1_4$. Таким образом определяется положение отмечаемых точек.

Начиная с верхнего проводника $A1_1$ в пазу *1* и обходя катушки по часовой стрелке, согласно таблице получим следующие начала частей:

$A1_1=1$, $A2_1=8$, $C1_1=17$, $C2_1=24$, $B1_1=33$, $B2_1=40$, $A1_3=49$, $A2_3=56$ и т. д. Число хомутиков или катушек



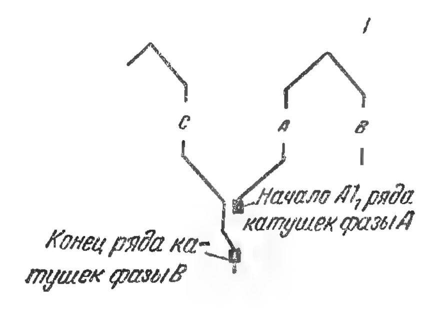



Рис. 7-44. Общая рабочая схема для определения отмечаемых точек, т. е. начала ряда катушек фазы *A* и конца ряда катушек фазы *B*, когда знак у $a$ является положительным.

*A* — верх паза *1*; *B* — низ паза (1 + задний шаг); *C* — низ паза (1 + число пазов — передний шаг). (Для обозначения соответствующего конца ряда см. таблицу соединений.)

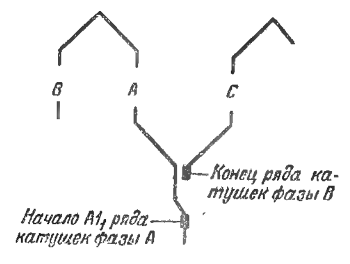



Рис. 7-45. Общая рабочая схема для определения отмечаемых точек, т. е. начала ряда катушек фазы *A* и конца ряда катушек фазы *B*, когда знак у $a$ является отрицательным.

*A* — низ паза *1*; *B* — верх паза (1 + число пазов — задний шаг); *C* — верх паза (1 + передний шаг). (Для обозначения соответствующего конца ряда см. таблицу соединений.)

между $A1_1=1$ и $A2_1=8$ будет 7—1=6. Аналогично между $A2_1=8$ и $C1_1=17$ имеем 9—1=8 хомутиков; между $C1_1$ и $C2_1$ 7—1=6 хомутиков и т. д. Начиная теперь с $B1_4=90$ и снова обходя катушки по стрелке часов, получим $B1_4=90$, $B2_4=1$, $A1_2=10$, $A2_2=17$, $C1_2=26$, $C2_2=33$ и т. д. Между $B1_4=90$ и $B2_4=1$ имеем 96—90=6 катушек или хомутиков; между $B2_4$ и $A1_2$ имеем 9 — 1=8 катушек или хомутиков. Это соответствует числам катушек между теми же точками, которые используются как начала частей обмотки. Рабочая схема представлена на рис. 7-30 и полная схема обмотки — на рис. 7-30а. Рабочие схемы для различных чисел пазов и полюсов указываются в табл. 7-43. В этой таблице 7-1, 7-2 и т. д. указывают рисунки, на которых представлены соответствующие рабочие схемы.

Полные схемы обмоток даны также для следующих случаев:

рис. 7-4а: 96 пазов, 10 полюсов, ППФ=$3^1/_5$, $a=-1$, $d$ равно нечетному числу;

рис. 7-6а: 90 пазов, 14 полюсов, ППФ=$2^1/_7$, $a=+1$, $d$ равно нечетному числу;

рис. 7-17а: 54 паза, 8 полюсов, ППФ=$2^1/_4$, $a=-1$, $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу;

рис. 7-25а: 72 паза, 10 полюсов, ППФ=$2^2/_5$, $a=-2$, $d$ равно нечетному числу, $P$ равно четному числу;

рис. 7-30а: 96 пазов, 14 полюсов, ППФ=$2^2/_7$, $a=+2$, $d$ равно нечетному числу, $P$ равно нечетному числу;

рис. 7-38а: 63 паза, 8 полюсов, ППФ=$2^5/_8$, $a=+2$, $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу;

рис. 7-43: 102 паза, 14 полюсов, ППФ=$2^3/_7$, $a=+3$, $d$ равно нечетному числу, $P$ равно нечетному числу.

Величины $a$, $d$, $P$ рассматриваются в § 7-4 и 7-11 и там же указывается, для чего они применяются.

**7-4. Шаг обмотки, задний шаг и передний шаг. Число повторяющихся частей. Общие правила.** Шаг обмотки симметричных волновых обмоток с дробным чилом пазов на полюс и фазу определяется дробью ППФ, так же как и группировка катушек определяется этой дробью (см. § 4-12). Если ППФ написать, как в § 4-5, в виде ППФ$=b\frac{c}{d}$, где $b$ — целая часть ППФ, а $\frac{c}{d}$ — ее дробная часть, то для $b=0$ шаг обмотки равен $\frac{(6c+a)}{d}$. Здесь $a$ — наименьшее целое число, при котором дробь $\frac{(6c+a)}{d}$ делается равной целому числу; $a$ может быть как положительным, так и отрицательным. Например, если $\frac{c}{d}=\frac{1}{7}$, то наименьшее значение $a$, при котором дробь $\frac{(6\times 1+a)}{7}$ делается равной целому числу, есть $a=+1$, или если $\frac{c}{d}=\frac{3}{8}$, то наименьшее значение $a$, при котором дробь $\frac{(6\times 3+a)}{8}$ делается равной целому числу, есть $a=-2$.

Значение и знак $a$ в большой степени определяют схему обмотки. Если при одном и том же абсолютном значении $a$ дробь $\frac{(6c+a)}{d}$ получается равной целому числу, то следует выбирать знак, при котором эта дробь будет четным числом. Например, если $\frac{c}{d}=\frac{3}{4}$, то наименьшее абсолютное значение $a$, при котором дробь $\frac{(6\times 3+a)}{4}$ получается равной целому числу, есть 2. Знак может быть плюс или минус, и соответственно для дроби получим 5 или 4. Следует выбрать знак минус.

$\frac{(6c+a)}{d}$ — шаг обмотки для $b=0$. Для $b$, не равного нулю, шаг обмотки равен:

$$6b+\frac{(6c+a)}{d}. \qquad (7\text{-}1)$$

Значение и знак $a$ не зависят от величины $b$.

В табл. 7-44 приведены значения дроби $\frac{(6c+a)}{d}$, а также соответственные значения и знаки $a$ для различных значений дроби $\frac{c}{d}$. Для определения шага обмотки нужно

к дроби $\frac{(6c+a)}{d}$ прибавить $6b$. Например, в табл. 7-44 для ППФ$=2^1/_7$ указано значение дроби, равное 1. Следовательно, шаг обмотки $6\times 2+1=13$. Если ППФ$=2^2/_7$, то из табл. 7-44 для дроби $\frac{(6c+a)}{d}$ получаем значение, равное 2; тогда шаг обмотки $6\times 2+2=14$.

Если шаг обмотки четный, то задний шаг и передний шаг выбираются равными половине шага обмотки. Если шаг обмотки нечетный, то задний шаг делается равным (шаг обмотки — 1)/2; тогда передний шаг будет равен (задний шаг + 1). Например, для случая ППФ$=2^1/_7$ шаг обмотки равен 13, задний шаг равен $(13-1)/2=6$, а передний шаг $6+1=7$; для случая ППФ$=2^2/_7$ шаг обмотки равен 14, а задний шаг, как и передний, равен 7.

В § 4-5 указывалось, что в симметричных петлевых обмотках с дробным числом пазов на полюс и фазу $d$ полюсов соответствуют повторяющейся части обмотки и что, следовательно, обмотка имеет $\left(\frac{\text{число полюсов}}{d}\right)$ повторяющихся частей. То же самое справедливо и для симметричных волновых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу, потому что, как было упомянуто в § 7-1, группировка катушек для обоих типов обмотки будет одинаковой, если одинаковы ППФ. Таким образом, $d$ определяет число полюсов на 1 повторяющуюся часть обмотки. Например, в 28-полюсной обмотке с ППФ$=2^1/_7$ 7 полюсов дают повторяющуюся часть обмотки, а всего в обмотке будет $28/7=4$ повторяющиеся части.

ППФ можно также написать в виде ППФ$=\frac{N}{d}$, где $N$ и $d$ не имеют общего делителя. Если, например, ППФ$=2^2/_7$, то $N=16$. $N$ всегда больше $d$, в то время как $c$ всегда меньше $d$. Отметим, что $N=$ППФ$\times d=$ числу пазов на фазу и $d$ полюсов, т. е. числу пазов на фазу в 1 повторяющейся части обмотки. $3N$ есть, следовательно, полное число пазов в 1 повторяющейся части обмотки.



Для составления схемы обмотки необходимо определить величину

$$D=\frac{3N\times P+1}{d} \tag{7-2}$$

таким образом, чтобы $P$ было наименьшим положительным целым числом, при котором $D$ получается целым числом, и написать ряд

$$1,\ 1+D,\ 1+2D,\ 1+3D,\dots \tag{7-3}$$

Если при составлении ряда какой-либо член его получается больше полного числа пазов на повторяющуюся часть обмотки, т. е. $3N$, то это последнее число нужно вычесть из данного члена ряда. Физическое значение величины $D$ и $D$-ряда объясняется в приложении 1.

Рассмотрим, например, обмотку с ППФ$=2^1/_7=15/7$. Для этого случая $N=15$, $3N=45$, $d=7$ и $D=(45\times P+1)/7=13$ при $P=2$. $D$-ряд получается в следующем виде:

$$\mathit{1},\ 1+13=\mathit{14},\ 14+13=\mathit{27},\ 27+13=\mathit{40},$$
$$40+13-45=\mathit{8}\dots$$

Шаг обмотки для данного случая равен 13. Из рассмотрения $D$-ряда вытекает, что он соответствует следующему ряду:

1, 1 + (шаг обмотки), 1 + (2 × шаг обмотки),
1 + (3 × шаг обмотки), ...

Шаг обмотки — расстояние между 2 следующими один за другим верхними или нижними проводниками волновой обмотки (см. § 6-1). В примере шаг обмотки—13 и задний шаг—6. Это означает, что если фаза начинается с верхнего проводника *1*, то этот проводник соединяется с нижним проводником $1+6=\mathit{7}$, а этот последний проводник — с верхним проводником $1+13=\mathit{14}$. Ближайший верхний проводник в волновой обмотке — $14+13=\mathit{27}$, следующий — $27+13=\mathit{40}$, следующий — $40+13-45=\mathit{8}$ и т. д.; при этом получаем точно такие же числа, как и следующие одно за другим в $D$-ряде; $D$-ряд определяет последовательность проводников в одном и том же слое, которые должны быть соединены в процессе выполнения обмотки.

Рассмотрим другой пример обмотки с ППФ$=2^1/_5=\frac{11}{5}$. Из табл. 7-44 следует, что для этой обмотки дробь

$\frac{(6c+a)}{d}$ равна 1 и, следовательно, шаг обмотки согласно уравнению (7-1) есть $6\times 2+1=13$. Задний шаг возьмем равным $(13-1)/2=6$, а передний шаг $6+1=7$. Для этой обмотки $N=11$, $3N=33$ и $d=5$. Отсюда

$$D=\frac{33\times P+1}{5}=20 \text{ при } P=3$$

и $D$-ряд:

$$1,\ 1+20=21,\ 21+20-33=8,\ 8+20=28,$$
$$28+20-33=15, \ldots$$

Обходя этот ряд справа налево, получим:

$$15,\ 15+13=28,\ 28+13-33=8,\ \ 8+13=21,$$
$$21+13-33=1 \ldots$$

Так как шаг обмотки равен 13, то снова $D$-ряд определяет последовательность проводников одного и того же слоя, которые должны быть соединены в процессе выполнения обмотки.

В первом примере ППФ$=2^1/_7$, $a$ равно$+1$ и $D$-ряд предписывает соединение проводников при обходе их по часовой стрелке. Во втором примере ППФ$=2^1/_5$, $a$ равно$-1$ и $D$-ряд предписывает соединение проводников при обходе их против часовой стрелки. В общем случае при положительном $a$ обмотка наматывается по стрелке часов, при отрицательном $a$—против стрелки часов. Так как имеются в виду левые катушки, то обмотка начинается с верхнего проводника и наматывается по часовой стрелке, если $a$ имеет положительный знак, а в другом случае обмотка начинается с нижнего проводника и наматывается против часовой стрелки, если $a$ имеет отрицательный знак.

Рассмотрим теперь обмотку, для которой $a=+2$. Такой обмоткой является, например, обмотка с ППФ$=$ $=2^2/_7=\frac{16}{7}$ (см. табл. 7-44).

Для этой обмотки $N=16$, $3N=48$, $d=7$. Дробь $\frac{(6c+a)}{d}=2$ при $a=+2$, шаг обмотки $6\times 2+2=14$ [см. уравнение (7-1)] и задний шаг равен переднему шагу равен $14/2=7$. Из уравнения (7-2) следует:

$$D=\frac{48\times P+1}{7}=7 \text{ при } P=1$$

и $D$-ряд:

$$1,\ 1+7=8,\ 8+7=15,\ 15+7=22,\ 22+7=29,$$
$$29+7=36,\ 36+7=43,\ 43+7-48=2, \ldots$$

Сравнивая этот ряд с рядом

$$1,\ 1+(\text{шаг обмотки}),\ 1+(2\times\text{шаг обмотки}),$$
$$1+(3\times\text{шаг обмотки}), \ldots,$$

можно видеть, что последний ряд состоит из чисел $D$-ряда, взятых не одно за другим, а через одно число. Это означает, что обмотка наматывается в 2 следующие одна за другой волны: одна с верхними (или нижними) проводниками

$$1\ \ 15\ \ 29\ \ 43 \ldots$$

другая с верхними (или нижними) проводниками

$$8\ \ 22\ \ 36\ \ 36+14-48=50-48=2 \ldots$$

Эти волны не могут быть соединены параллельно; они должны быть соединены последовательно.

В то время как обмотка при $a=1$ имеет $\frac{(\textit{число полюсов})}{d}$ частей в каждой фазе, обмотка при $a=2$ имеет в 2 раза большее число частей на фазу, которые попарно должны быть соединены последовательно. Вместо последовательного соединения частей можно сделать 2 отдельные обмотки и соединить их последовательно. Более подробные сведения о таких соединениях даются в § 7-10.

Обмотка при $a=\pm 2$ может рассматриваться как состоящая из двух обмоток, как бы вложенных одна в другую, в чем можно убедиться, обращаясь к $D$-ряду этой обмотки.

Два ряда—1, 15, 29, 43,... и 8, 22, 36, 2,... состоят из чисел, возрастающих на шаг обмотки при следовании их слева направо, т. е. обмотка наматывается, начиная с верхнего проводника, по часовой стрелке. Последнее обусловлено тем, что знак у $a$ является положительным. Обмотка при $a=-2$ наматывается против стрелки часов, начиная с нижнего проводника.

Вообще значение $a$ определяет число частей обмотки на фазу. Обмотка при $a=\pm2$, $\pm3$... имеет число частей, в 2, 3,... раза большее числа частей обмотки при $a=\pm1$. Знак у $a$ указывает, как наматывается обмотка — по часовой стрелке или против часовой стрелки.

Общий метод, изложенный в данном параграфе, будет пояснен на 5 примерах при $a=+1$, $a=-1$, $a=\pm2$ и $N$, равном четному числу, $a=-2$ и $N$, равном нечетному числу (см. § 7-9—7-11).

**7-5. Максимальное возможное число параллельных ветвей.** Максимальное возможное число параллельных ветвей равно частному (число полюсов/$d$), так как оно равно числу повторяющихся частей обмотки. Если выбирается меньшее число параллельных ветвей, чем максимальное возможное, то последнее должно быть кратным выбранному числу ветвей. Максимальное число параллельных ветвей не зависит от значения $a$. Если $a$ больше 1, то число частей обмотки будет в $a$ раз больше, чем при $a=1$. Однако $a$ частей обмотки всегда должны быть соединены последовательно, если $a$ больше 1; таким образом, максимальное возможное число параллельных ветвей обмотки будет тем же самым, что и при $a=1$.

**7-6. Полярности начал и концов частей обмотки.** Чтобы соединить части каждой фазы последовательно или параллельно, надо знать полярности их начал и концов. В § 7-4 отмечалось, что обмотку при $a$, большем 1, можно рассматривать как состоящую из $a$ отдельных обмоток, как бы вложенных одна в другую или сплетенных между собой, причем каждая из них имеет (число полюсов/$d$) повторяющихся частей. Полярности начал 2 следующих одна за другой частей одной и той же обмотки определяются знаменателем $d$ ППФ; если $d$—нечетное число, то полярности будут противоположными; если $d$ — четное число, то полярности будут одинаковыми. Это правило определяет полярности всех частей любой из сплетенных обмоток, если выбрана (произвольно) полярность начала первой части. Оно применимо ко всем 3 фазам. Для случая $a=\pm1$ это правило является совершенно достаточным.

В случае $a=\pm2$ полярности начал первых частей 2 обмоток определяются коэффициентом $P$ [см. уравнение (7-2)], от которого зависит значение $D$; если $P$—нечетное число, то полярности противоположны для всех 3 фаз; если



$P$—четное число, то полярности одинаковы для фазы $A$ и противоположны для фаз $C$ и $B$. Это и первое правила определяют для $a=1$ и $a=2$ полярности всех начал обмотки по отношению к полярности начала первой обмотки, т. е. по отношению к полярности катушечной стороны *1*, которая может быть выбрана произвольно.

Приведенные 2 правила относились к началам. Конец каждой части имеет знак, противоположный знаку начала части.

Вообще, для проверки полярности катушечной стороны надо разделить номер катушечной стороны минус 1 на число пазов на полюс. Частное будет равно или дроби, лежащей между следующими одно за другим целыми числами, или целому числу. Если принять полярность паза *1* положительной (плюс) и если частное лежит между следующими одно за другим целыми числами, то рассматриваемый паз имеет положительную полярность при меньшем целом числе, равном четному числу, и отрицательную полярность при меньшем числе, равном нечетному числу. Если частное равно целому числу, то рассматриваемый паз имеет положительную полярность при четном целом числе и отрицательную полярность при нечетном целом числе. (0 считается четным числом.) Этот метод проверки полярности может быть применен также к случаю $a>2$. Полярность начала фазы можно выбирать произвольно. Если эта произвольно выбранная полярность противоположна той, которая получена по приведенному правилу, то полярности всех других начал этой фазы следует изменить.

Приведенные ранее правила для определения полярностей поясняются на примерах в § 7-9—7-13.

**7-7. Начала фаз.** Как и в случае волновых обмоток с целым числом и (целым числом $+\frac{1}{2}$) пазов на полюс и фазу, начала фаз размещают, если это возможно, на одинаковом расстоянии одно от другого. За начало фазы $A$ обычно принимают проводник *1*. Тогда одинаковые расстояния между началами фаз получаются, если за начало фазы $B$ принимается проводник $(1+Z/3)$, а за начало фазы $C$—проводник $(1+2Z/3)$, или наоборот. После того как определены начала всех частей фазы $C$ и фазы $B$ (см. § 7-9—7-11), надо найти 2 начала: одно фазы $C$ и другое фазы $B$, которыми являются проводники $(1+Z/3)$ и $(1+2Z/3)$ или возможно более близкие к ним; затем должны быть проверены углы в электрических градусах между

этими началами. Пусть $Z_1$ и $Z_2$—номера проводников, точно или приблизительно равные $(1+Z/3)$ и $(1+2Z/3)$. Тогда угол $(Z_1-1)\times\frac{d}{N}\times 60$ должен быть точно или приблизительно равен 120°, а угол $(Z_2-1)\times\frac{d}{N}\times 60$ должен быть точно или приблизительно равен 240°, или наоборот.

Если не требуются одинаковые или близкие к ним расстояния между началами и между концами, то за начала фаз могут быть взяты $A_1$, $B_1$ и $C_3$ или $A_1$, $B_3$ и $C_1$ в случае $d$, равного нечетному числу, и $A_1$, $B_1$ и $C_1$ в случае $d$, равного четному числу.

**7-8. Число перемычек, необходимых для последовательного соединения всех частей фазы.** Для волновых обмоток с целым числом и (целым числом $+{}^1/_2$) пазов на полюс и фазу требуется только одна перемычка (поворотное соединение) при последовательном соединении всех катушек фазы. В случае $a=\pm 1$ требуется $\left(\frac{\text{число полюсов}}{d}-1\right)$ перемычек на фазу, а в случае $a=\pm 2$ требуется $\left(\frac{2\times\text{число полюсов}}{d}-1\right)$ перемычек. Число перемычек больше, чем для обмоток с целым числом и (целым числом$+{}^1/_2$) пазов на полюс и фазу. Но в то же время, как отмечалось в § 7-1, рассматриваемые в данной главе обмотки не имеют ненормальных передних шагов.

**7-9. Составление схем обмоток при $a=\pm 1$.** Согласно приведенным в § 7-4 правилам необходимо выполнить следующее:

а) Написать ППФ$=\frac{N}{d}$, где $N$ и $d$ не имеют общего делителя.

б) Определить $D$ из уравнения (7-2).

в) Написать первые $N$ чисел $D$-ряда.

г) Написать под числами, определенными в п. «в», вторую, третью,... горизонтальные строки—всего $\left(\frac{\text{число полюсов}}{d}\right)$ горизонтальных строк — таким образом, чтобы числа каждой строки были больше на $3N$ чисел предшествующей строки.



д) Начать с проводника *1* и найти в $D$-ряде, определенном в п. «г», $N$ проводников, составляющих ряд с шагом обмотки:

*1*, 1+(шаг обмотки), 1+(2×шаг обмотки)...

е) Начать с проводника $(1+3N)$, который является первым проводником второй строки $D$-ряда, и найти в $D$-ряде $N$ проводников, составляющих следующий ряд:

$$(1+3N),\ (1+3N)+(\text{шаг обмотки}),\ (1+3N)+(2\times\text{шаг обмотки})\ldots$$

ж) Начать с проводника $(1+6N)$, который является первым проводником третьей строки $D$-ряда, и найти в $D$-ряде $N$ проводников, составляющих следующий ряд:

$$(1+6N),\ (1+6N)+(\text{шаг обмотки}),\ (1+6N)+(2\times\text{шаг обмотки})\ldots$$

Продолжить указанные действия, пока не получится $\left(\frac{\text{число полюсов}}{d}\right)$ волн с $N$ проводниками в каждой.

Полученные $\left(\frac{\text{число полюсов}}{d}\right)$ волн, составляющих каждая ряд с шагом обмотки и определенных указанным способом, представляют собой повторяющиеся части фазы $A$. Эти части, если желательно, могут быть соединены параллельно.

Обозначим начала повторяющихся частей фазы $A$ через $A_1$, $A_3$, $A_5$, ... и их концы соответственно через $A_2$, $A_4$, $A_6$, ...; тогда $A_1$ — проводник *1*, $A_3$ — проводник $(1+3N)$, $A_5$ — проводник $(1+6N)$ и т. д., или

$$\left.\begin{aligned} A_1&=1;\\ A_3&=1+3N;\\ A_5&=1+6N;\\ &\ldots\ldots \end{aligned}\right\}\qquad (7\text{-}3)$$

Для фазы $C$ имеем:

$$C_1=1+ND, \qquad (7\text{-}4)$$

так как это число является первым числом в $D$-ряде, следующим за $N$ числами этого ряда, отнесенными в п. „в" к фазе $A$. Далее,

$$\left.\begin{aligned} C_3&=C_1+3N;\\ C_5&=C_1+6N;\\ &\ldots\ldots \end{aligned}\right\}\qquad (7\text{-}4)$$

Таким же образом находим для фазы $B$:

$$\left.\begin{aligned} B_1 &= 1 + 2ND; \\ B_3 &= B_1 + 3N; \\ B_5 &= B_1 + 6N; \\ &\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \qquad (7\text{-}5)$$

Отметим, что $C_1$ и $B_1$ должны быть меньше, чем $3N$. Если $(1+ND)$ или $(1+2ND)$ больше $3N$, то надо вычесть $3N$, или $6N$, или $9N$ и т. д. до тех пор, пока число не будет меньше $3N$. Поскольку начала $C_1$, $C_3$,..., $B_1$, $B_3$,... известны, повторяющиеся части фаз $C$ и $B$ могут быть определены прибавлением шага обмотки, умноженного на $(N—1)$, в случае $a=+1$ и вычитанием шага обмотки, умноженного на $(N—1)$, в случае $a=—1$. В случае $a=+1$, если какие-нибудь числа получаются бóльшими числа пазов $Z$, то $Z$ надо вычесть. В другом случае, при $a=—1$, если числа получаются отрицательными, то $Z$ надо прибавить.

$a=+1$

Определенные выше проводники — верхние проводники. Обмотка наматывается по стрелке часов. Все повторяющиеся части начинаются с верхних проводников, а концы их — нижние проводники. Число повторяющихся частей на фазу равно $\frac{\text{(число полюсов)}}{d}$.

Концы $A_2$, $A_4$,... $C_2$, $C_4$... $B_2$, $B_4$... — нижние проводники, которые лежат в пазах:

Начало + $[(N-1)\times$ шаг обмотки + задний шаг]. (7-6)

Например, $A_2 = A_1 + [(N-1) \times$ шаг обмотки + задний шаг]. $A_2$, $A_4$... $C_2$, $C_4$... $B_2$, $B_4$... должны быть меньше, чем $Z$, в противном случае надо вычесть $Z$ или $2Z$ и т. д.

$a=—1$

Определенные выше проводники — нижние проводники. Обмотка наматывается против стрелки часов. Все повторяющиеся части начинаются с нижних проводников, концы их — верхние проводники. Число повторяющихся частей на фазу равно $\frac{\text{(число полюсов)}}{d}$. Концы $A_2$, $A_4$,... $C_2$, $C_4$... $B_2$, $B_4$... — верхние проводники, которые лежат в пазах:

Начало $+[Z-(N-1)\times$ шаг обмотки — задний шаг]. (7-7)

Например, $A_2 = A_1 + [Z-(N-1)\times$ шаг обмотки — задний шаг]. $A_2$, $A_4$... $C_2$, $C_4$... $B_2$, $B_4$... должны быть меньше $Z$ и положительными. Если они больше $Z$, надо вычесть $Z$, если отрицательные, надо прибавить $Z$.



Пример для $a=+1$.

Рассмотрим 23-полюсную обмотку при 180 пазах и 2 проводниках на паз. Из основной табл. 3-5 имеем: ППФ $=2^1/_7=\frac{15}{7}$. Таким образом, $N=15$, $3N=45$, $d=7$, $c=1$. Из табл. 7-44 для $\frac{c}{d}=\frac{1}{7}$ получаем: $\frac{(6c+a)}{d}=1$ при $a=+1$. Следовательно, шаг обмотки $12+1=13$, задний шаг $(13-1)/2=6$ и передний шаг $6+1=7$. Обмотка наматывается по стрелке часов; все начала — верхние проводники. Из уравнения (7-2) следует:

$$D=\frac{45\times P+1}{7}=13 \text{ при } P=2.$$

В каждой фазе получаем: $\frac{\text{(число полюсов)}}{d}=\frac{23}{7}=4$ повторяющиеся части. Правила пп. „в" и „г" дают для верхних проводников фазы $A$:

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14 | 27 | 40 | 8 | 21 | 34 | 2 | 15 | 28 | 41 | 9 | 22 | 35 | 3 | $D$-ряд. |
| 46 | 59 | 72 | 85 | 53 | 66 | 79 | 47 | 60 | 73 | 86 | 54 | 67 | 80 | 48 | |
| 91 | 104 | 117 | 130 | 98 | 111 | 124 | 92 | 105 | 118 | 131 | 99 | 112 | 125 | 93 | |
| 136 | 149 | 162 | 175 | 143 | 156 | 169 | 137 | 150 | 163 | 176 | 144 | 157 | 170 | 138 | |

Применяя правила пп. „д", „е" и „ж", получаем ряд с шагом обмотки:

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14 | 27 | 40 | 53 | 66 | 79 | 92 | 105 | 118 | 131 | 144 | 157 | 170 | 3—1-я повторяющаяся часть; |
| 46 | 59 | 72 | 85 | 93 | 111 | 124 | 137 | 150 | 163 | 176 | 9 | 22 | 35 | 48—2-я повторяющаяся часть; |
| 91 | 104 | 117 | 130 | 143 | 156 | 169 | 2 | 15 | 28 | 41 | 54 | 67 | 80 | 93—3-я повторяющаяся часть; |
| 136 | 149 | 162 | 175 | 8 | 21 | 34 | 47 | 60 | 73 | 86 | 99 | 112 | 125 | 138—4-я повторяющаяся часть. |

Начала 4 повторяющихся частей фазы $A$ лежат в пазах *1, 46, 91* и *136*, что согласуется с уравнением (7-3), которое дает: $A_1=1$; $A_3=1+45=46$; $A_5=1+90=91$ и $A_7=1+9\times15=136$. Отсюда следует, что можно не делать расчета $D$-ряда, а вместо этого для определения начал повторяющихся частей использовать уравнение (7-3). Применяя ряд с шагом обмотки к началам, получим таблицу для повторяющихся частей обмотки.

Концы 4 частей — нижние проводники [уравнение (7-6)]:

$$A_2 = 1 + (15 - 1) \times 13 + 6 = 1 + 188 = 189 - 180 = 9;$$
$$A_4 = 46 + 188 - 180 = 54;$$
$$A_6 = 91 + 188 - 180 = 99;$$
$$A_7 = 136 + 188 - 180 = 144.$$

Для составления схемы первой части фазы $A$ начинаем с верхнего проводника *1*, соединяем его с нижним проводником (1+задний шаг) = =1+6=7, этот проводник соединяем со вторым верхним проводником 14 (из ранее приведенной таблицы) и т. д., заканчивая часть нижним проводником $3+6=9=A_2$.

Так как $d=7$ — нечетное число, то полярности начал 2 следующих друг за другом частей одной и той же фазы будут противоположными. То же самое относится и к полярностям концов. Из рис. 7-46, показывающего полярности начал и концов, следует, что для последовательного соединения частей фазы $A$ надо соединить $A_4$ с $A_2$, $A_8$ с $A_6$ и $A_3$ с $A_5$; $A_1$ и $A_7$ — выводы фазы. Если желательно получить 4 параллельные ветви, то надо присоединить $A_1$, $A_4$, $A_5$ и $A_8$ к одному выводу, а $A_2$, $A_3$, $A_6$ и $A_7$ — к другому выводу. Если желательно иметь 2 параллельные ветви, то надо соединить $A_4$ с $A_2$, $A_5$ с $A_7$, $A_1$ с $A_8$ и $A_3$ с $A_6$. Выводами будут $A_1 \to A_8$ и $A_3 \to A_6$. (См. таблицу соединений 7-7 и рабочую схему на рис. 7-7.)

| | | |
|---|---|---|
| $\uparrow A_1\ A_2 \downarrow$ | $\uparrow C_1\ C_2 \downarrow$ | $\uparrow B_1\ B_2 \downarrow$ |
| $\downarrow A_3\ A_4 \uparrow$ | $\downarrow C_3\ C_4 \uparrow$ | $\downarrow B_3\ B_4 \uparrow$ |
| $\uparrow A_5\ A_6 \downarrow$ | $\uparrow C_5\ C_6 \downarrow$ | $\uparrow B_5\ B_6 \downarrow$ |
| $\downarrow A_7\ A_8 \uparrow$ | $\downarrow C_7\ C_8 \uparrow$ | $\downarrow B_7\ B_8 \uparrow$ |

Рис. 7-46. Полярности начал и концов всех фаз обмотки при $a = \pm 1$ и $d$, равном нечетному числу.

**Индексы 1, 3, 5, 7 и т. д. относятся к началам частей обмотки; индексы 2, 4, 6, 8 и т. д. относятся к концам частей обмотки.**

Начала 4 частей фазы $C$ — верхние проводники [см. уравнение (7-4)]:

$$C_1 = 1 + 15 \times 13 = 196 - 12 \times 15 = 16;$$
$$C_3 = 16 + 45 = 61;$$
$$C_5 = 16 + 90 = 106;$$
$$C_7 = 16 + 135 = 151$$

и концы — нижние проводники [см. уравнение (7-6)]:

$$C_2 = 16 + (15 - 1) \times 13 + 6 = 16 + 188 - 180 = 24;$$
$$C_4 = 61 + 188 - 180 = 69;$$
$$C_6 = 106 + 188 - 180 = 114;$$
$$C_8 = 151 + 188 - 180 = 159.$$



Уравнения (7-5) и (7-6) дают для фазы $B$:

$$B_1 = 1 + 2 \times 15 \times 13 - 24 \times 15 = 31;$$
$$B_2 = 31 + (15 - 1) \times 13 + 6 - 180 = 39;$$
$$B_3 = 31 + 45 = 76;$$
$$B_4 = 76 + 188 - 180 = 84;$$
$$B_5 = 31 + 90 = 121;$$
$$B_6 = 121 + 188 - 180 = 129;$$
$$B_7 = 31 + 135 = 166;$$
$$B_8 = 166 + 188 - 180 = 174.$$

Для того чтобы между началами фаз были одинаковые расстояния, фаза $B$ должна начинаться в пазу $1 + Z/3$ и фаза $C$ — в пазу $1 + 2Z/3$ или наоборот, т. е. в данном случае в пазу $\left(1 + \frac{180}{3}\right) = 61$ и в пазу $\left(1 + 2 \times \frac{180}{3}\right) = 121$. $C_3$ лежит в пазу *61* и $B_5$ лежит в пазу *121*. Таким образом, $B_5$ можно взять как начало фазы $B$, а $C_3$ — как начало фазы $C$. Проверяем углы между началами 3 фаз: $(B_5 - 1) \times \frac{d}{N} \times 60 = (121 - 1) \times \frac{7}{15} \times 60 = 3\,360 - 9 \times 360 = 120°$ и $(C_3 - 1) \times \frac{d}{N} \times 60 = (61 - 1) \times \frac{7}{15} \times 60 = 1\,680 - 1\,440 = 240°$, как и должно быть. Для последовательного, а также параллельного соединений $B_5$ и $C_3$ должны быть использованы как выводы.

Пример для $a = -1$.

Рассмотрим 10-полюсную обмотку при 66 пазах и 2 проводниках паз. Из основной табл. 3-5 имеем: ППФ$=2^1/_5=\frac{11}{5}$. Таким образом $N = 11$, $3N = 33$, $d = 5$, $c = 1$. Из табл. 7-44 для $\frac{c}{d} = \frac{1}{5}$ получаем: $\frac{6c + a}{d} = 1$ при $a = -1$. Следовательно, шаг обмотки равен $12 + 1 = 13$, задний шаг равен $\frac{13 - 1}{2} = 6$ и передний шаг равен $6 + 1 = 7$. Обмотка наматывается против движения стрелки часов; все начала — нижние проводники. Из уравнения (7-2) следует:

$$D = \frac{33 \times P + 1}{5} = 20 \text{ при } P = 3.$$

В каждой фазе получаем $\frac{(\text{число полюсов})}{d} = \frac{10}{5} = 2$ повторяющиеся части. Правила пп. „в“ и „г“ дают для нижних проводников фазы $A$:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 21 | 8 | 28 | 15 | 2 | 22 | 9 | 29 | 16 | 3 | $D$-ряд. |
| 34 | 54 | 41 | 61 | 48 | 35 | 55 | 42 | 62 | 49 | 36 | |

Применяя правила пп. „д“, „е“ и „ж“, получаем ряд с шагом обмотки:

1 54 41 23 15 2 55 42 29 16 3 — 1-я повторяющаяся часть;
34 21 8 61 48 35 22 9 62 49 36 — 2-я повторяющаяся часть.

Начала 2 частей фазы $A$ лежат в пазах *1* и *34*, что согласуется с уравнением (7-3), которое дает: $A_1=1$ и $A_3=1+33=34$. Концы 2 частей—верхние проводники [см. уравнение (7-7)]:

$$A_2=A_1+66-(11-1)\times 13-6=67-136=-69+2\times 66=63;$$
$$A_4=A_3+66-136=-36+66=30.$$

Для составления схемы первой части фазы $A$ начинаем с нижнего проводника *1*, соединяем его с верхним проводником $1+(Z-$задний шаг$)=1+(66-6)=61$, последний проводник соединяем со вторым нижним проводником *54* ряда с шагом обмотки. Этот проводник надо соединить с верхним $54-6=48$, а этот верхний — с третьим нижним проводником *41* того же ряда и т. д., заканчивая часть верхним проводником $3-6+66=63=A_2$. То же самое надо сделать для оставшейся части фазы $A$, начиная теперь с нижнего проводника *34*.

Начала 2 частей фаз $C$ и $B$ — нижние проводники [уравнения (7-4) и (7-5)]:

$$C_1=1+11\times 20-6\times 33=23;$$
$$C_3=23+33=56,$$
$$B_1=1+2\times 11\times 20-13\times 33=12;$$
$$B_3=12+33=45$$

и концы — верхние проводники [уравнения (7-7)]:

$$C_2=C_1+66-136=-47+66=19;$$
$$C_4=C_3+66-136=-14+66=52;$$
$$B_2=B_1+66-136=-58+66=8;$$
$$B_4=B_3+66-136=-25+66=41.$$

Так как $d=5$ — нечетное число, то полярности начал 2 следующих друг за другом частей одной и той же фазы будут противоположными. Из рис. 7-46, на котором показаны полярности начал и концов, следует, что для последовательного соединения надо соединить $A_2$ с $A_4$, $C_2$ с $C_4$ и $B_2$ с $B_4$. При 2 параллельных ветвях (максимальное возможное число параллельных ветвей) $A_1$ соединяется с $A_4$ и $A_2$ с $A_3$, далее $C_1$ с $C_4$, $C_2$ с $C_3$, $B_1$ с $B_4$ и $B_2$ с $B_3$.

Для того чтобы между началами фаз были одинаковые расстояния, начало фазы $B$ должно лежать в пазу $1+Z/3=1+22=23$, а начало фазы $C$ — в пазу $1+2Z/3=1+44=45$ или наоборот. $C_1$ лежит в пазу *23* и $B_3$ лежит в пазу *45*. Таким образом, $B_3$ можно взять как начало фазы $B$ и $C_1$ — как начало фазы $C$, что применимо как к последовательному, так и к параллельному соединению. Проверка углов между началами 3 фаз дает: $(B_3-1)\times\frac{d}{N}\times 60=(45-1)\times\frac{5}{11}\times 60=1\,200-$ $-3\times 360=120°$ и $(C_1-1)\times\frac{d}{N}\times 60=(23-1)\times\frac{5}{11}\times 60=600-360=$ $=240°$.

**7-10. Составление схем обмоток при $a=\pm 2$ и $N$, равном четному числу.** Как указывалось в § 7-4, обмотку при $a=\pm 2$ можно рассматривать состоящей из 2 сплетенных



обмоток. Одну из них будем обозначать цифрой 1, другую — цифрой 2, каждая из которых будет следовать за обозначающей фазу буквой. Таким образом, *A1* обозначает первую из сплетенных обмоток фазы $A$, *A2* — вторую из сплетенных обмоток фазы $A$. Далее, $A1_1$ обозначает начало первой повторяющейся части первой обмотки; $A2_1$ — начало первой повторяющейся части второй обмотки, $A1_3$ — начало второй повторяющейся части первой обмотки и т. д.

| | | |
|---|---|---|
| $\uparrow A_1\ A_2\downarrow$ | $\uparrow C_1\ C_2\downarrow$ | $\uparrow B_1\ B_2\downarrow$ |
| $\uparrow A_3\ A_4\downarrow$ | $\uparrow C_3\ C_4\downarrow$ | $\uparrow B_3\ B_4\downarrow$ |
| $\uparrow A_5\ A_6\downarrow$ | $\uparrow C_5\ C_6\downarrow$ | $\uparrow B_5\ B_6\downarrow$ |
| $\uparrow A_7\ A_8\downarrow$ | $\uparrow C_7\ C_8\downarrow$ | $\uparrow B_7\ B_8\downarrow$ |

Рис. 7-47. Полярности начал и концов всех 3 фаз обмотки при $a=\pm 1$ и $d$, равном четному числу.

Индексы 1, 3, 5, 7 и т. д. относятся к началам частей обмотки; индексы 2, 4, 6, и т. д. относятся к концам частей обмотки.

При рассмотрении обмоток с $a=\pm 2$ следует различать обмотки с $N$, равным четному числу, и с $N$, равным нечетному числу. В первом случае обе обмотки имеют одно и то же число катушек; во втором случае одна обмотка имеет катушек больше, чем другая. Второй случай будет рассматриваться в § 7-11. В данном параграфе рассматриваются только те обмотки, которые имеют $a=\pm 2$ и $N$, равное четному числу.

Для составления схемы обмотки при $a=\pm 2$ обратимся к следующим правилам, изложенным в § 7-4:

а) Написать ППФ$=\frac{N}{d}$, где $N$ и $d$ не имеют общего делителя.

б) Определить $D$ по уравнению (7-2).

в) Написать первые $N$ чисел $D$-ряда.

г) Написать под $N$ числами, определенными в п. «в», вторую, третью и т. д. горизонтальные строки — всего $\left(\frac{\text{число полюсов}}{d}\right)$ горизонтальных строк — таким образом, чтобы числа каждой строки были на $3N$ больше чисел предшествующей строки.

д) Начать с проводника $1$ и найти в $D$-ряде, определенном в п. «г», $N/2$ проводников, составляющих ряд с шагом обмотки: $1$, $1+$(шаг обмотки), $1+(2\times$шаг обмотки),... Эти проводники принадлежат части (волне) $1$ первой обмотки фазы $A$, т. е. части, которая начинается в $A1_1$ и кончается в $A1_2$.

е) Начать с проводника $1+D$, т. е. с проводника, следующего за проводником $1$, и найти в $D$-ряде $N/2$ проводников, составляющих ряд: $1+D$, $(1+D)+$(шаг обмотки), $(1+D)+(2\times$шаг обмотки),... Полученные проводники принадлежат части (волне) $1$ второй обмотки фазы $A$, т. е. части, которая начинается в $A2_1$ и кончается в $A2_2$.

ж) Начать с проводника $(1+3N)$, который является первым проводником второй строки $D$-ряда, и найти в $D$-ряде $N/2$ проводников, образующих ряд: $(1+3N)$, $(1+3N)+$(шаг обмотки), $(1+3N)+(2\times$шаг обмотки),... Эти проводники принадлежат части (волне) $2$ первой обмотки фазы $A$, т. е. части, которая начинается в $A1_3$ и кончается в $A1_4$.

з) Начать с проводника $(1+3N+D)$, который является вторым проводником второй строки $D$-ряда, и найти в $D$-ряде $N/2$ проводников, образующих ряд: $(1+3N+D)$, $(1+3N+D)+$(шаг обмотки), $(1+3N+D)+(2\times$шаг обмотки),... Полученные проводники принадлежат части (волне) $2$ второй обмотки фазы $A$, т. е. части, которая начинается в $A2_3$ и кончается в $A2_4$.

Далее надо продолжать тем же способом, пока не будет получено $2\times\frac{(\text{число полюсов})}{d}$ частей с $N/2$ проводниками в каждой.

Нечетные части (волны) $A1_1$, $A1_3$, $A1_5$, ... принадлежат первой обмотке фазы $A$; четные части (волны) $A2_1$, $A2_3$, $A2_5$, ... принадлежат второй обмотке фазы $A$. Части каждой обмотки могут быть соединены параллельно $\left(\text{максимальное возможное число параллельных ветвей равно } \frac{(\text{число полюсов})}{d}\right)$, но обе обмотки нельзя соединять параллельно, они должны быть соединены последовательно.



Начала 3 фаз можно найти по следующим формулам:

$$\left.\begin{aligned} A1_1 &= 1; \\ A1_3 &= 1+3N; \\ A1_5 &= 1+6N; \\ &\dots \end{aligned}\right\} \quad (7\text{-}8) \qquad \left.\begin{aligned} A2_1 &= 1+D; \\ A2_3 &= A2_1+3N; \\ A2_5 &= A2_1+6N; \\ &\dots \end{aligned}\right\} \quad (7\text{-}9)$$

$$\left.\begin{aligned} C1_1 &= 1+ND; \\ C1_3 &= C1_1+3N; \\ C1_5 &= C1_1+6N; \\ &\dots \end{aligned}\right\} \quad (7\text{-}10) \qquad \left.\begin{aligned} C2_1 &= C1_1+D; \\ C2_3 &= C2_1+3N; \\ C2_5 &= C2_1+6N; \\ &\dots \end{aligned}\right\} \quad (7\text{-}11)$$

$$\left.\begin{aligned} B1_1 &= 1+2ND; \\ B1_3 &= B1_1+3N; \\ B1_5 &= B1_1+6N; \\ &\dots \end{aligned}\right\} \quad (7\text{-}12) \qquad \left.\begin{aligned} B2_1 &= B1_1+D; \\ B2_3 &= B2_1+3N; \\ B2_5 &= B2_1+6N; \\ &\dots \end{aligned}\right\} \quad (7\text{-}13)$$

Отметим, что $C1_1$, $B1_1$, $C2_1$ и $B2_1$ должны быть меньше $3N$. Если формулы дают значения, бо́льшие $3N$, то надо вычесть $3N$, или $6N$, или $9N$ и т. д.

Как и в случае $a=\pm1$, концы фаз $C$ и $B$ могут быть определены по их началам $C1_1$, $C2_1$, ... $B1_1$, $B2_1$, ... прибавлением шага обмотки, умноженного на $\left(\frac{N}{2}-1\right)$; для случая $a=+2$ и вычитанием шага обмотки, умноженного на $\left(\frac{N}{2}-1\right)$, для случая $a=-2$. Если в случае $a=+2$ какое-нибудь из чисел получится бо́льшим, чем число пазов $Z$, то $Z$ надо вычесть. С другой стороны, если в случае $a=-2$ какое-нибудь из чисел получается отрицательным, то $Z$ надо прибавить.

$a=+2$

Определенные выше проводники — верхние проводники. Обмотка наматывается по стрелке часов. Все части начинаются с верхних проводников и заканчиваются в нижних проводниках. Число частей на фазу равно $2\times\frac{(\text{число полюсов})}{d}$, по половине этого числа в каждой из 2 сплетенных обмоток. Концы $A1_2$, $A2_2$, $A1_4$, $A2_4$ ... $C1_2$, $C2_2$, $C1_4$, $C2_4$...

$a=-2$

Определенные выше проводники — нижние проводники. Обмотка наматывается против стрелки часов. Все части начинаются с нижних проводников и заканчиваются в верхних проводниках. Число частей на фазу равно $2\times\frac{(\text{число полюсов})}{d}$, по половине этого числа в каждой из 2 сплетенных обмоток. Концы $A1_2$, $A2_2$, $A1_4$, $A2_4$ ... $C1_2$, $C2_2$, $C1_4$, $C2_4$ ... $B1_2$, $B2_2$, $B1_4$, $B2_4$ ... лежат в пазах с номерами:

$B1_2$, $B2_2$, $B1_4$, $B2_4$ . . . лежат в пазах с номерами:

$$\text{Начало} + \left[\frac{(N-2)}{2} \times \text{шаг обмотки} + \text{задний шаг}\right]. \quad (7\text{-}14)$$

Например, $A2_2$ — нижний проводник, лежащий в пазу $A2_1 + \left[\frac{(N-2)}{2} \times \text{шаг обмотки} + \text{задний шаг}\right]$. $A1_2$, $A2_2$, . . . $C1_2$, $C2_2$, . . . $B1_2$, $B2_2$ . . . должны быть меньше $Z$, в противном случае надо вычесть $Z$ или $2Z$ и т. д.

$$\text{Начало} + \left[Z - \frac{(N-2)}{2} \times \text{шаг обмотки} - \text{задний шаг}\right]. \quad (7\text{-}15)$$

Например, $A2_2$ — верхний проводник, лежащий в пазу $A2_1 + \left[Z - \frac{(N-2)}{2} \times \text{шаг обмотки} - \text{задний шаг}\right]$, $A1_2$, $A2_2$ . . . $C1_2$, $C2_2$ . . . $B1_2$, $B2_2$ . . . должны быть меньше $Z$ и положительными. Если они больше $Z$, надо вычесть $Z$, если отрицательны, надо прибавить $Z$.

**Пример для $a = +2$ и $N$, равного четному числу.** Рассмотрим 14-полюсную обмотку при 96 пазах и 2 проводниках на паз. Из основной табл. 3-5 имеем ППФ$=2^2/_7 = \frac{16}{7}$. Таким образом, $N = 16$, $3N = 48$, $d = 7$, $c = 2$. Из табл. 7-44 для $\frac{c}{d} = \frac{2}{7}$ получаем: $\frac{(6c+a)}{d} = 2$ при $a = +2$. Следовательно, шаг обмотки равен $(6 \times 2) + 2 = 14$ [см. уравнение (7-1)], задний шаг равен переднему шагу равен 7. Обмотка наматывается по стрелке часов; все начала — верхние проводники. Из уравнения (7-2) следует:

$$D = \frac{3 \times 16 \times P + 1}{7} = 7 \text{ при } P = 1.$$

Каждая фаза имеет $a=2$ сплетенные обмотки, каждая из которых состоит из $\frac{(\text{число полюсов})}{d} = \frac{14}{7} = 2$ частей. Полное число частей на фазу равно 4.

Правила пп. „в“ и „г“ дают для верхних проводников фазы $A$:

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8 | 15 | 22 | 29 | 36 | 43 | 2 | 9 | 16 | 23 | 30 | 37 | 44 | 3 | 10 | $D$-ряд. |
| 49 | 56 | 63 | 70 | 77 | 84 | 91 | 50 | 57 | 64 | 71 | 78 | 85 | 92 | 51 | 58 | |

Применяя правила пп. „д“—„з“, получаем 4 части (волны) фазы $A$:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15 | 29 | 43 | 57 | 71 | 85 | 3 | — 1-я часть 1-й обмотки; |
| 8 | 22 | 36 | 50 | 64 | 78 | 92 | 10 | — 1-я часть 2-й обмотки; |
| 49 | 63 | 77 | 91 | 9 | 23 | 37 | 51 | — 2-я часть 1-й обмотки; |
| 56 | 70 | 84 | 2 | 16 | 30 | 44 | 58 | — 2-я часть 2-й обмотки. |

Для составления схемы обмотки начинаем с верхнего проводника *1* и соединяем его с нижним проводником $1 + 7 = 8$; затем этот проводник соединяем со вторым верхним проводником первой части первой обмотки *15* и т. д. То же самое повторяем с другими 3 частями.



Начала обеих сплетенных обмоток лежат в пазах:

$$A1_1 = 1; \qquad A2_1 = 8;$$
$$A1_3 = 49; \qquad A2_3 = 56.$$

Это согласуется с уравнениями (7-8) и (7-9). Концы 4 частей лежат в пазах [уравнение (7-14)]:

$$A1_2 = 1 + (7 \times 14 + 7) = 1 + 105 - 96 = 10;$$
$$A1_4 = 49 + 105 - 96 = 58;$$
$$A2_2 = 8 + 105 - 96 = 17;$$
$$A2_4 = 56 + 105 - 96 = 65.$$

Полярности начал могут быть определены по правилам, приведенным в § 7-6. Так как $d$ — нечетное число, то начала части *1* и части *2* каждой из сплетенных обмоток имеют противоположные знаки. (Например, $A1_1$ и $A1_3$ имеют противоположные знаки.) Далее, коэффициент $P$, определяющий значение $D$,— нечетное число, а это значит, что полярности начал первых частей обеих обмоток будут противоположными. (Например, $A1_1$ и $A2_1$ будут иметь противоположные знаки.) Отсюда получаем рис. 7-48 для полярностей начал и концов всех фаз.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\uparrow A1_1$ | $A1_2 \downarrow$ | $\uparrow C1_1$ | $C1_2 \downarrow$ | $\uparrow B1_1$ | $B1_2 \downarrow$ |
| $\downarrow A1_3$ | $A1_4 \uparrow$ | $\downarrow C1_3$ | $C1_4 \uparrow$ | $\downarrow B1_3$ | $B1_4 \uparrow$ |
| $\uparrow A1_5$ | $A1_6 \downarrow$ | $\uparrow C1_5$ | $C1_6 \downarrow$ | $\uparrow B1_5$ | $B1_6 \downarrow$ |
| $\downarrow A2_1$ | $A2_2 \uparrow$ | $\downarrow C2_1$ | $C2_2 \uparrow$ | $\downarrow B2_1$ | $B2_2 \uparrow$ |
| $\uparrow A2_3$ | $A2_4 \downarrow$ | $\uparrow C2_3$ | $C2_4 \downarrow$ | $\uparrow B2_3$ | $B2_4 \downarrow$ |
| $\downarrow A2_5$ | $A2_6 \uparrow$ | $\downarrow C2_5$ | $C2_6 \uparrow$ | $\downarrow B2_5$ | $B2_6 \uparrow$ |

Рис. 7-48. Полярности начал и концов всех 3 фаз обмотки при $a = \pm 2$, $d$, равном нечетному числу, $P$, равном нечетному числу.

Цифра 1, следующая за обозначающей фазу буквой, относится к первой из сплетенных обмоток; цифра 2, следующая за обозначающей фазу буквой, относится ко второй из сплетенных обмоток; индексы 1, 3, 5 и т. д. относятся к **началам** частей сплетенных обмоток; индексы 2, 4, 6 и т. д. относятся к **концам** частей сплетенных обмоток; обе обмотки не могут быть соединены **параллельно**; они должны быть соединены **последовательно**.

Вообще, последовательное соединение может быть осуществлено 3 различными способами: части каждой обмотки соединяются сначала последовательно, а затем все обмотки соединяются последовательно; каждая обмотка подключается к кольцу и затем все кольца размыкаются в отдельных точках так, чтобы при соединении их между собой получилось последовательное соединение; можно также часть первой обмотки соединить последовательно с частью второй, третьей и т. д. и все полученные группы частей соединить последовательно.

В рассматриваемом примере третий способ дает наиболее короткие перемычки. Таким образом, для последовательного соединения надо соединить $A1_2$ с $A2_2$, далее $A1_4$ с $A2_4$ и $A2_1$ с $A2_3$. $A1_1$ и $A1_3$ — выводы. Для соединения в 2 параллельные ветви надо соединить $A1_2$ с $A2_2$ и $A1_3$ с $A2_3$, что даст последовательное соединение частей обеих обмоток; после этого надо соединить $A1_1$ с $A1_4$ и $A2_4$ с $A2_1$; $A1_1 \to A1_4$ и $A2_4 \to A2_1$ будут выводами. (См. таблицу соединений 7-30 и рис. 7-30 и 7-30а.)

Начала и концы фаз $C$ и $B$ лежат в следующих пазах [уравнения 7-10) — (7-14)]:

$$
\begin{aligned}
C1_1 &= 1 + 16 \times 7 = 113 - 2 \times 48 = \mathit{17};\\
C1_2 &= 17 + (7 \times 14 + 7) = 17 + 105 - 96 = \mathit{26};\\
C1_3 &= 17 + 48 = \mathit{65};\\
C1_4 &= 65 + 105 - 96 = \mathit{74};\\
C2_1 &= 17 + 7 = \mathit{24};\\
C2_2 &= 24 + 105 - 96 = \mathit{33};\\
C2_3 &= 24 + 48 = \mathit{72};\\
C2_4 &= 72 + 105 - 96 = \mathit{81};\\
B1_1 &= 1 + 2 \times 16 \times 7 - 4 \times 48 = \mathit{33};\\
B1_2 &= 33 + 105 - 96 = \mathit{42};\\
B1_3 &= 33 + 48 = \mathit{81};\\
B1_4 &= 81 + 105 - 96 = \mathit{90};\\
B2_1 &= 33 + 7 = \mathit{40};\\
B2_2 &= 40 + 105 - 96 = \mathit{49};\\
B2_3 &= 40 + 48 = \mathit{88};\\
B2_4 &= 88 + 105 - 192 = \mathit{1}.
\end{aligned}
$$

Для того чтобы между началами фаз были одинаковые расстояния, фаза $B$ должна начинаться в пазу $1+Z/3=33$ и фаза $C$ — в пазу $1+2\times(Z/3)=65$ или наоборот. $C1_3$ лежит в пазу *65*, $B1_1$ лежит в пазу *33*. Таким образом, $B1_1$ можно взять как начало фазы $B$ и $C1_3$ — как начало фазы $C$. Проверка углов между началами 3 фаз дает:

$$(B1_1 - 1) \times \frac{d}{N} \times 60 = 32 \times \frac{7}{16} \times 60 = 840 - 2 \times 360 = 120^\circ \quad \text{и}$$

$$(C1_3 - 1) \times \frac{d}{N} \times 60 = 64 \times \frac{7}{16} \times 60 = 1\,680 - 4 \times 360 = 240^\circ.$$

При последовательном или параллельном соединении фаз $B$ и $C$ следует руководствоваться теми же указаниями, которые были сделаны в отношении фазы $A$. Соединения надо выполнить так, чтобы можно было $A1_1$, $B1_1$ и $C1_3$ присоединить к сети или контактным кольцам.

Пример для $a = -2$ и $N$, равного четному числу. Рассмотрим 10-полюсную обмотку при 72 пазах. Из основной табл. 3-5 имеем: $\text{ППФ} = 2^2/_5 = \frac{12}{5}$. Таким образом, $N = 12$, $d = 5$. Из табл. 7-44 для $\frac{c}{d} = \frac{2}{5}$ получаем $\frac{6c + a}{d} = 2$ и $a = -2$. Следовательно, шаг обмотки равен $6 \times 2 + 2 = 14$; задний шаг равен переднему шагу равен 7.



Так как знак у $a$ отрицательный, то обмотка наматывается против стрелки часов и имеет все начала в нижних проводниках. Из уравнения (7-2) следует:

$$D = \frac{3 \times 12 \times P + 1}{5} = 29 \text{ при } P = 4.$$

Имеем в каждой фазе 2 сплетенные обмотки каждая с $\frac{(\text{число полюсов})}{d} = \frac{10}{5} = 2$ частями. Полное число частей на фазу $2 \times 2 = 4$.

Правила пп. „в" и „г" дают для нижних проводников фазы $A$:

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 23 | 16 | 9 | 2 | 31 | 24 | 17 | 10 | 3 | 32 | } $D$-ряд. |
| 37 | 66 | 59 | 52 | 45 | 38 | 67 | 60 | 53 | 46 | 39 | 68 | |

Применяя правила пп. „д" — „з", получаем 4 части (волны фазы $A$:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 59 | 45 | 31 | 17 | 3 | — 1-я часть 1-й обмотки; |
| 30 | 16 | 2 | 60 | 46 | 32 | — 1-я часть 2-й обмотки; |
| 37 | 23 | 9 | 67 | 53 | 39 | — 2-я часть 1-й обмотки; |
| 66 | 52 | 38 | 24 | 10 | 68 | — 2-я часть 2-й обмотки. |

Для составления схемы обмотки начинаем с нижнего проводника *1* и соединяем его с верхним проводником $72 + 1 - 7 = \mathit{66}$; затем соединяем этот верхний проводник со вторым нижним проводником $66 - 7 = \mathit{59}$ и т. д., заканчивая верхним проводником $72 + 3 - 7 = 68 = A1_2$. То же самое повторяем с другими тремя частями. Начала частей фазы $A$ лежат в пазах:

$$A1_1 = \mathit{1}; \qquad A2_1 = \mathit{30};$$
$$A1_3 = \mathit{37}; \qquad A2_3 = \mathit{66},$$

что согласуется с уравнениями (7-8) и (7-9).

Согласно уравнению (7-15) концы четырех частей лежат в пазах

$$A1_2 = 1 + \left(72 - \frac{12 - 2}{2} \times 14 - 7\right) = 1 + (-5) + 72 = 68$$

(72 прибавлено, чтобы $A1_2$ было положительным);

$$
\begin{aligned}
A1_4 &= 37 + (-5) = \mathit{32};\\
A2_2 &= 30 + (-5) = \mathit{25};\\
A2_4 &= 66 + (-5) = \mathit{61}.
\end{aligned}
$$

Согласно уравнениям (7-10), (7-11) и (7-15) начала и концы частей фазы $C$ лежат в пазах:

$$C1_1 = \mathit{25}; \qquad C1_2 = \mathit{20};$$
$$C1_3 = \mathit{61}; \qquad C1_4 = \mathit{56};$$
$$C2_1 = \mathit{18}; \qquad C2_2 = \mathit{13};$$
$$C2_3 = \mathit{54}; \qquad C2_4 = \mathit{49}$$

и согласно уравнениям (7-12), (7-13) и (7-15) начала и концы частей фазы $B$ — в пазах:

$$B1_1 = \mathit{13}; \qquad B1_2 = \mathit{8};$$
$$B1_3 = \mathit{49}; \qquad B1_4 = \mathit{44};$$
$$B2_1 = \mathit{6}; \qquad B2_2 = \mathit{1};$$
$$B2_3 = \mathit{42}; \qquad B2_4 = \mathit{37}.$$

Так как $d$ равно нечетному числу, начала части *1* и части *2* каждой из сплетенных обмоток имеют противоположные знаки ($A1_1$ и $A1_3$ имеют противоположные знаки, так же как $C1_1$ и $C1_3$ и $B1_1$ и $B1_3$). Далее, коэффициент $P$, определяющий значение $D$, равен четному числу, а это значит, что полярности начал первых частей сплетенных обмоток будут одинаковыми для фазы $A$ ($A1_1$ имеет ту же полярность, что и $A2_1$), но противоположными для $C$ и $B$ ($C1_1$ имеет противоположную полярность по отношению к $C2_1$ и $B1_1$ — противоположную полярность по отношению к $B2_1$). Полярности начал и концов показаны на рис. 7-49.

Полярности начал частей могут быть проверены по общей формуле, приведенной в § 7-6. Число пазов на полюс для рассматриваемой обмотки $\frac{72}{10} = 7^1/_5$. Примем, что полярность $A1_1$ — плюс $= (\uparrow)$. Тогда полярность $A2_1$, которое лежит в пазу *30*, будет определяться частным $\frac{30-1}{7^1/_5}$, которое лежит между 4 и 5. Так как меньшее число 4 — четное, то полярность будет такая же, как у $A1_1$. Аналогично полярность $A1_3$, которое лежит в пазу *37*, определяется частным $\frac{37-1}{7^1/_5} = 5$. Так как 5 — нечетное число, то полярность будет противоположной по отношению к $A1_1$. Подобным образом могут быть определены полярности остальных частей. В приведенной ниже таблице указаны пазы, в которых лежат начала всех частей, числа, между которыми лежит частное $\frac{\textit{число пазов} - 1}{\textit{число пазов на полюс}}$, и полярности.

| Паз, в котором лежит начало | Частное лежит между | Полярность по отношению к принятой для $A1_1$ |
|---|---|---|
| $A1_1 = 1$ | — | ↑ |
| $A2_1 = 30$ | 4—5 | ↑ |
| $A1_3 = 37$ | 5 | ↓ |
| $A2_3 = 66$ | 9—10 | ↓ |
| $C1_1 = 25$ | 3—4 | ↓ |
| $C2_1 = 18$ | 2—3 | ↑ |
| $C1_3 = 61$ | 8—9 | ↑ |
| $C2_3 = 54$ | 7—8 | ↓ |
| $B1_1 = 13$ | 1—2 | ↓ |
| $B2_1 = 6$ | 0—1 | ↑ |
| $B1_3 = 49$ | 6—7 | ↑ |
| $B2_3 = 42$ | 5—6 | ↓ |

В таблице соединений 7-25 полярности начал $C1_1$ и $B1_1$ приняты теми же самыми, что и у $A1_1$. Следовательно, чтобы получить приведенные



выше полярности фаз $C$ и $B$ совпадающими с полярностями таблицы, надо полярности всех начал этих фаз изменить на обратные, что дает:

| | | |
|---|---|---|
| $A1_1 = \uparrow$ | $C1_1 = \uparrow$ | $B1_1 = \uparrow$ |
| $A2_1 = \uparrow$ | $C2_1 = \downarrow$ | $B2_1 = \downarrow$ |
| $A1_3 = \downarrow$ | $C1_3 = \downarrow$ | $B1_3 = \downarrow$ |
| $A2_3 = \downarrow$ | $C2_3 = \uparrow$ | $B2_3 = \uparrow$ |

Это находится в соответствии с результатами, указанными в табл. 7-25 и на рис. 7-49, причем последний указывает полярности всех начал и концов для случая $a = \pm 2$, $d$, равного нечетному числу, и $P$, равного четному числу.

Произвольное предположение, что полярности $C1_1$ и $B1_1$ — такие же, как полярность $A1_1$, и изменение на обратные всех других полярностей этих фаз не влияют на соединение частей, так как о т н о с и т е л ь н ы е п о л я р н о с т и частей остаются теми же самыми. Рабочая схема данной обмотки показана на рис. 7-25, а полная ее схема — на рис. 7-25а.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\uparrow A1_1$ | $A1_2 \downarrow$ | $\uparrow C1_1$ | $C1_2 \downarrow$ | $\uparrow B1_1$ | $B1_2 \downarrow$ |
| $\downarrow A1_3$ | $A1_4 \uparrow$ | $\downarrow C1_3$ | $C1_4 \uparrow$ | $\downarrow B1_3$ | $B1_4 \uparrow$ |
| $\uparrow A1_5$ | $A1_6 \downarrow$ | $\uparrow C1_5$ | $C1_6 \downarrow$ | $\uparrow B1_5$ | $B1_6 \downarrow$ |
| $\uparrow A2_1$ | $A2_2 \downarrow$ | $\downarrow C2_1$ | $C2_2 \uparrow$ | $\downarrow B2_1$ | $B2_2 \uparrow$ |
| $\downarrow A2_3$ | $A2_4 \uparrow$ | $\uparrow C2_3$ | $C2_4 \downarrow$ | $\uparrow B2_3$ | $B2_4 \downarrow$ |
| $\uparrow A2_5$ | $A2_6 \downarrow$ | $\downarrow C2_5$ | $C2_6 \uparrow$ | $\downarrow B2_5$ | $B2_6 \uparrow$ |

Рис. 7-49. Полярности начал и концов всех 3 фаз обмотки при $a = \pm 2$, $d$, равном нечетному числу, $P$, равном четному числу.

Цифра 1, следующая за обозначающей фазу буквой, относится к п е р в о й из сплетенных обмоток; цифра 2, следующая за обозначающей фазу буквой, относится ко в т о р о й из сплетенных обмоток; индексы 1, 3, 5 и т. д. относятся к н а ч а л а м частей сплетенных обмоток; индексы 2, 4, 6 и т. д. относятся к к о н ц а м частей сплетенных обмоток; обе обмотки не могут быть соединены п а р а л л е л ь н о; они должны быть соединены п о с л е д о в а т е л ь н о.

**7-11. Составление схем обмоток при $a = \pm 2$ и $N$, равном нечетному числу.** Ранее было указано, что в случае $a = \pm 2$ и $N$, равного нечетному числу, обе обмотки имеют различные числа катушек. Правила „а"—„з", приведенные в § 7-10 для $a = \pm 2$ и $N$, равного четному числу, применимы также и здесь, но с некоторыми изменениями.

Так как все строки $D$-ряда, определенные согласно „в“ и „г“, имеют здесь нечетные числа проводников, то части первой обмотки будут иметь $\frac{N+1}{2}$ проводников, а части второй обмотки будут иметь $\frac{N-1}{2}$ проводников. Вследствие этого согласно правилам „д“ и „ж“, которые относятся к первой обмотке, должны быть определены $\frac{N+1}{2}$ проводников, образующих ряд с шагом обмотки, и согласно правилам „е“ и „з“, которые относятся ко второй обмотке, должны быть определены $\frac{N-1}{2}$ проводников, образующих ряд с шагом обмотки.

Правила в отношении параллельного и последовательного соединений, приведенные в § 7-10, и уравнения (7-8)—(7-13) для начал частей обеих обмоток применимы и в данном случае. Однако уравнения (7-14) и (7-15) для концов должны применяться с учетом различия чисел катушек обеих обмоток.

$a = +2$

Концы $A1_2$, $A1_4$ . . . $C1_2$, $C1_4$ . . . $B1_2$, $B1_4$ . . . лежат в пазах:

Начало $+ \left(\frac{N-1}{2} \times \text{шаг обмотки} + \text{задний шаг}\right)$ (7-16)

и концы $A2_2$, $A2_4$ . . . $C2_2$, $C2_4$ . . . $B2_2$, $B2_4$ . . . лежат в пазах:

Начало $+ \left(\frac{N-3}{2} \times \text{шаг обмотки} + \text{задний шаг}\right)$. (7-17)

Все концы должны быть меньше $Z$, в противном случае надо вычесть $Z$ или $2Z$ и т. д.

$a = -2$

Концы $A1_2$, $A1_4$ . . . $C1_2$, $C1_4$ . . . $B1_2$, $B1_4$ . . . лежат в пазах:

Начало $+ \left(Z - \frac{N-1}{2} \times \text{шаг обмотки} - \text{задний шаг}\right)$ (7-18)

и концы $A2_2$, $A2_4$ . . . $C2_2$, $C2_4$ . . . $B2_2$, $B2_4$ . . . лежат в пазах:

Начало $+ \left(Z - \frac{N-3}{2} \times \text{шаг обмотки} - \text{задний шаг}\right)$. (7-19)

Все концы должны быть меньше $Z$ и положительными. Если они больше $Z$, надо вычесть $Z$, если они отрицательны, прибавить $Z$.

Пример для $a = -2$ и $N$, равного нечетному числу. Рассмотрим 24-полюсную обмотку при 171 пазе и 2 проводниках на паз. Из основной табл. 3-5 имеем: ППФ $= 2^3/_8 = \frac{19}{8}$. Таким образом, $N = 19$, $3N = 57$, $d = 8$, $c = 3$. Из табл. 7-44 для $\frac{c}{d} = \frac{3}{8}$ получаем:



$\frac{(6c+a)}{d} = 2$ при $a = -2$. Следовательно, шаг обмотки равен $(6 \times 2) + 2 = 14$, задний шаг равен переднему шагу равен 7. Обмотка наматывается против стрелки часов; при этом все начала — нижние проводники. Из уравнения (7-2) следует:

$$D = \frac{57 \times P + 1}{8} = 50 \text{ при } P = 7.$$

Имеем в каждой фазе $a = 2$ сплетенные обмотки по $\frac{(\text{число полюсов})}{d} = \frac{24}{8} = 3$ части в каждой. Полное число частей на фазу 6. 3 части первой обмотки имеют $\frac{N+1}{2} = 10$ нижних и 10 верхних проводников каждая; 3 части второй обмотки имеют $\frac{N-1}{2} = 9$ нижних и 9 верхних проводников каждая.

Согласно правилам „в“ и „г“ § 7-10 получаем следующие нижние проводники фазы $A$:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 51 | 44 | 37 | 30 | 23 | 16 | 9 | 2 | 52 | 45 | 38 | 31 | 24 | 17 | 10 | 3 | 53 | 46 | |
| 58 | 108 | 101 | 94 | 87 | 80 | 73 | 66 | 59 | 109 | 102 | 95 | 88 | 81 | 74 | 67 | 60 | 110 | 103 | $D$ ряд |
| 115 | 165 | 158 | 151 | 144 | 137 | 130 | 123 | 116 | 166 | 159 | 152 | 145 | 138 | 131 | 124 | 117 | 167 | 160 | |

Применяя правила „д“—„з“ § 7-10 с указанными выше изменениями, получаем 6 частей (волн) обеих обмоток фазы $A$:

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 158 | 144 | 130 | 116 | 102 | 88 | 74 | 60 | 46 | — 1-я часть 1-й обмотки; |
| 51 | 37 | 23 | 9 | 166 | 152 | 138 | 124 | 110 | | — 1-я часть 2-й обмотки; |
| 58 | 44 | 30 | 16 | 2 | 159 | 145 | 131 | 117 | 103 | — 2-я часть 1-й обмотки; |
| 108 | 94 | 80 | 66 | 52 | 33 | 24 | 10 | 167 | | — 2-я часть 2-й обмотки; |
| 115 | 101 | 87 | 73 | 59 | 45 | 31 | 17 | 3 | 160 | — 3-я часть 1-й обмотки; |
| 165 | 151 | 137 | 123 | 109 | 95 | 81 | 67 | 53 | | — 3-я часть 2-й обмотки. |

Для составления схемы обмотки начинаем с нижнего проводника *1* и соединяем его с верхним проводником $1 + 171 - 7 = 165$, затем соединяем этот проводник со вторым нижним проводником первой части первой обмотки *158* и т. д. То же самое делаем с другими 5 частями, начиная с пазов *51*, *58*, *108*, *115* и *165*. Начала обеих обмоток:

$A1_1 = 1$; $A2_1 = 51$;
$A1_3 = 58$; $A2_3 = 108$;
$A1_5 = 115$; $A2_5 = 165$.

Те же числа можно получить из уравнений (7-8) и (7-9). Концы 6 частей — верхние проводники [уравнения (7-18) и (7-19)]:

$$A1_2 = 1 + \left(Z - \frac{19-1}{2} \times 14 - 7\right) = 1 + 38 = \mathit{39};$$

$$A2_2 = 51 + \left(Z - \frac{19-3}{2} \times 14 - 7\right) = 51 + 52 = \mathit{103};$$

$$A1_4 = 58 + 38 = \mathit{96};$$

$$A2_4 = 103 + 52 = \mathit{160};$$

$$A1_6 = 115 + 38 = \mathit{153};$$

$$A2_6 = 165 + 52 - 171 = \mathit{46}.$$

Так как $d$ — четное число, то начала всех частей первой обмотки из 2 сплетенных обмоток имеют одинаковые полярности, также начала всех частей второй обмотки имеют одинаковые полярности. Далее, величина $P$, определяющая значение $D$,— нечетное число, а это означает, что полярности начал первых частей обеих обмоток будут противоположными. Отсюда получаем рис. 7-50 для полярностей начал и концов всех фаз.

Как указывалось выше, последовательное соединение может быть осуществлено 3 способами. Наиболее короткие перемычки получаются, если соединить $A1_2$ с $A2_6$, $A1_4$ с $A2_2$, $A1_6$ с $A2_4$, $A1_3$ с $A2_3$ и $A1_5$ с $A2_5$. $A1_1$ и $A2_1$ — выводы. Можно получить только 3 параллельные ветви. Для параллельного соединения сначала надо соединить $A1_2$ с $A2_6$, $A1_4$ с $A2_2$ и $A1_6$ с $A2_4$ и затем присоединить $A1_1$, $A1_3$, $A1_5$ к одному выводу, а $A2_1$, $A2_3$, $A2_5$ — к другому выводу.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\uparrow A1_1$ | $A1_2\downarrow$ | $\uparrow C1_1$ | $C1_2\downarrow$ | $\uparrow B1_1$ | $B1_2\downarrow$ |
| $\uparrow A1_3$ | $A1_4\downarrow$ | $\uparrow C1_3$ | $C1_4\downarrow$ | $\uparrow B1_3$ | $B1_4\downarrow$ |
| $\uparrow A1_5$ | $A1_6\downarrow$ | $\uparrow C1_5$ | $C1_6\downarrow$ | $\uparrow B1_5$ | $B1_6\downarrow$ |
| $\downarrow A2_1$ | $A2_2\uparrow$ | $\downarrow C2_1$ | $C2_2\uparrow$ | $\downarrow B2_1$ | $B2_2\uparrow$ |
| $\downarrow A2_3$ | $A2_4\uparrow$ | $\downarrow C2_3$ | $C2_4\uparrow$ | $\downarrow B2_3$ | $B2_4\uparrow$ |
| $\downarrow A2_5$ | $A2_6\uparrow$ | $\downarrow C2_5$ | $C2_6\uparrow$ | $\downarrow B2_5$ | $B2_6\uparrow$ |

Рис. 7-50. Полярности начал и концов всех 3 фаз обмотки при $a = \pm 2$, $d$, равном четному числу, $P$, равном нечетному числу. ($P$ равно всегда нечетному числу при $d$, равном четному числу.)

Цифра 1, следующая за обозначающей фазу буквой, относится к первой из сплетенных обмоток; цифра 2, следующая за обозначающей фазу буквой, относится ко второй из сплетенных обмоток; индексы 1, 3, 5 и т. д. относятся к началам частей сплетенных обмоток; индексы 2, 4, 6 и т. д. относятся к концам частей сплетенных обмоток; обе обмотки не могут быть соединены параллельно; они должны быть соединены последовательно.



Начала и концы фаз $C$ и $B$ лежат в пазах [уравнения (7-10)—(7-13), (7-18) и (7-19)]:

$$C1_1 = 1 + 19 \times 50 - 16 \times 57 = \mathit{39};$$

$$C1_2 = 39 + \left(Z - \frac{19-1}{2} \times 14 - 7\right) = 39 + 38 = \mathit{77};$$

$$C1_3 = 39 + 57 = \mathit{96};$$
$$C1_4 = 96 + 38 = \mathit{134};$$
$$C1_5 = 39 + 2 \times 57 = \mathit{153};$$
$$C1_6 = 153 + 38 = 191 - 171 = \mathit{20};$$
$$C2_1 = 39 + 50 - 57 = \mathit{32};$$

$$C2_2 = 32 + \left(Z - \frac{19-3}{2} \times 14 - 7\right) = 32 + 52 = \mathit{84};$$

$$C2_3 = 32 + 57 = \mathit{89};$$
$$C2_4 = 89 + 52 = \mathit{141};$$
$$C2_5 = 32 + 2 \times 57 = \mathit{146};$$
$$C2_6 = 146 + 52 - 171 = \mathit{27};$$

$$B1_1 = 1 + 2 \times 19 \times 50 - 33 \times 57 = \mathit{20};$$
$$B1_2 = 20 + 38 = \mathit{58};$$
$$B1_3 = 20 + 57 = \mathit{77};$$
$$B1_4 = 77 + 38 = \mathit{115};$$
$$B1_5 = 20 + 2 \times 57 = \mathit{134};$$
$$B1_6 = 134 + 38 = 172 - 171 = \mathit{1};$$

$$B2_1 = 20 + 50 - 57 = \mathit{13};$$
$$B2_2 = 13 + 52 = \mathit{65};$$
$$B2_3 = 13 + 57 = \mathit{70};$$
$$B2_4 = 70 + 52 = \mathit{122};$$
$$B2_5 = 13 + 2 \times 57 = \mathit{127};$$
$$B2_6 = 127 + 52 - 171 = \mathit{8}.$$

Для получения одинаковых расстояний между началами фаз фаза $B$ должна начинаться в пазу $1 + \frac{Z}{3} = \mathit{58}$ и фаза $C$—в пазу $1 + 2 \times \frac{Z}{3} = \mathit{115}$ или наоборот. $B1_2$ лежит в *58*, но ни начало, ни конец $C$ не лежат в *115*. В данном случае нельзя получить одинаковые расстояния между началами, потому что 24 (число полюсов) кратно 6 (см. § 6-3). Проверка показывает, что $B1_3 = 77$ и $C1_1 = 39$ могут быть использованы как начала фаз. При этом получаем углы:

$$(B1_3 - 1) \times \frac{d}{N} \times 60 = 76 \times \frac{8}{19} \times 60 = 1\,920 - 5 \times 360 = 120°$$

$$\text{и } (C1_1 - 1) \times \frac{d}{N} \times 60 = 38 \times \frac{8}{19} \times 60 - 2 \times 360 = 240°.$$

При последовательном или параллельном соединении фаз $B$ и $C$ следует руководствоваться теми же указаниями, которые были сделаны в отношении фазы $A$. Соединения надо выполнить так, чтобы $A1_1$, $B1_3$ и $C1_1$ были выводами, присоединяемыми к сети или контактным кольцам. На рис. 7-35 показана рабочая схема, на рис. 7-35а — полная схема обмотки; табл. 7-35 — таблица соединений для рассмотренного примера.

**7-12. Составление схемы обмотки при $a$, большем 2.** Как отмечалось ранее (см. § 7-4), обмотки при $a$, большем 1, можно рассматривать как состоящие из $a$ сплетенных обмоток. Число частей на фазу таких обмоток равно $\left(a \times \frac{\text{(число полюсов)}}{d}\right)$, каждая обмотка имеет $\frac{\text{(число полюсов)}}{d}$ частей.

Если $\frac{N}{a}$ — целое число, все обмотки имеют одинаковые числа проводников (катушек) на часть; если $\frac{N}{a}$ — дробное число, обмотки имеют различные числа проводников на часть. В первом случае схемы рассматриваемых обмоток аналогичны схемам обмоток при $a = \pm 2$ и $N$, равном четному числу; во втором случае они аналогичны схемам обмоток при $a = \pm 2$ и $N$, равном нечетному числу. Как и ранее, знак плюс перед $a$ указывает, что обмотка наматывается по стрелке часов, а знак минус, что обмотка наматывается против стрелки часов. Правила, приведенные в § 7-10 и 7-11, применимы и здесь, но с некоторыми изменениями.

Согласно правилам „а“ — „г“ § 7-10 определяются $\frac{\text{(число полюсов)}}{d}$ $D$-рядов фазы $A$. Затем, начиная с проводника $1$, находится определенное число проводников ($N1$), образующих ряд с шагом обмотки; после этого, начиная с проводников $1 + D$, $1 + 2D, \ldots 1 + (a - 1)D$, определяются снова числа проводников $N2$, $N3\ldots$, образующих ряды с шагом обмотки. Тогда $N1$, $N2$, $N3\ldots$ — числа катушек в частях $a$ сплетенных обмоток. Сумма $N1 + N2 + N3 + \ldots$ должна быть равна $N$.

Таким образом, для первых частей фазы $A$ имеем:

$$A1_1 = 1;\ A2_1 = 1 + D;\ A3_1 = 1 + 2D\ldots \qquad (7\text{-}20)$$

Отметим, что $A2_1$, $A3_1\ldots$ должны быть меньше $3N$, в противном случае надо вычесть $3N$, $6N\ldots$

Начала вторых частей сплетенных обмоток фазы $A$ находятся прибавлением $3N$ к началам первых частей и начала третьих частей — прибавлением $6N$ к началам первых частей. Следовательно,

$$\left.\begin{aligned} A1_3 &= 1 + 3N;\ A2_3 = A2_1 + 3N;\ A3_3 = A3_1 + 3N\ldots;\\ A1_5 &= 1 + 6N;\ A2_5 = A2_1 + 6N;\ A3_5 = A3_1 + 6N\ldots \end{aligned}\right\} \quad (7\text{-}21)$$

Концы первой обмотки ($A1$) с $N1$ катушками:

$$\textit{начало} + [(N1 - 1) \times \textit{шаг обмотки} + \textit{задний шаг}], \qquad (7\text{-}22)$$

если $a$—положительно;

$$\textit{начало} + [Z - (N1 - 1) \times \textit{шаг обмотки} - \textit{задний шаг}], \qquad (7\text{-}23)$$

если $a$ — отрицательно.

Концы второй обмотки ($A2$) с $N2$ катушками:

$$\textit{начало} + [(N2 - 1) \times \textit{шаг обмотки} + \textit{задний шаг}], \qquad (7\text{-}24)$$

если $a$ — положительно;

$$\textit{начало} + [Z - (N2 - 1) \times \textit{шаг обмотки} - \textit{задний шаг}], \qquad (7\text{-}25)$$

если $a$ — отрицательно.

Концы третьей обмотки ($A3$) с $N3$ катушками:

$$\textit{начало} + [(N3 - 1) \times \textit{шаг обмотки} + \textit{задний шаг}], \qquad (7\text{-}26)$$

если $a$ — положительно;

$$\textit{начало} + [Z - (N3 - 1) \times \textit{шаг обмотки} - \textit{задний шаг}], \qquad (7\text{-}27)$$

если $a$ — отрицательно

и т. д.

Начало первой части первой обмотки фазы $C$

$$C1_1 = 1 + ND \qquad (7\text{-}28)$$

начало первой части первой обмотки фазы $B$

$$B1_1 = 1 + 2ND. \qquad (7\text{-}29)$$

Согласно уравнению (7-20)

$$C2_1 = C1_1 + D;\quad C3_1 = C1_1 + 2D; \qquad (7\text{-}30)$$

$$B2_1 = B1_1 + D;\quad B3_1 = B1_1 + 2D. \qquad (7\text{-}31)$$

Отметим, что начала первых частей всех обмоток $C1_1$, $C2_1$, $C3_1, \ldots B1_1$, $B2_1$, $B3_1, \ldots$ должны быть меньше $3N$, в противном случае надо вычесть $3N$, $6N\ldots$

Согласно уравнению (7-21)

$$\left.\begin{aligned} B1_3 &= B1_1 + 3N;\ B2_3 = B2_1 + 3N;\ B3_3 = B3_1 + 3N; \\ B1_5 &= B1_1 + 6N;\ B2_5 = B2_1 + 6N;\ B3_5 = B3_1 + 6N \end{aligned}\right\} \quad (7\text{-}32)$$

и

$$\left.\begin{aligned} C1_3 &= C1_1 + 3N;\ C2_3 = C2_1 + 3N;\ C3_3 = C1_1 + 3N; \\ C1_5 &= C1_1 + 6N;\ C2_5 = C2_1 + 6N;\ C3_5 = C1_1 + 6N. \end{aligned}\right\} \quad (7\text{-}33)$$

Концы первой обмотки фаз $C$ и $B$ ($C1$ и $B1$) с $N1$ проводниками на часть определяются по уравнениям (7-22) и (7-23); концы второй обмотки фаз $C$ и $B$ ($C2$ и $B2$) с $N2$ проводниками на часть определяются по (7-24) и (7-25); концы третьей обмотки фаз $C$ и $B$ ($C3$ и $B3$) с $N3$ проводниками на часть определяются по (7-26) и (7-27) и т. д.

По приведенным выше уравнениям определяются начала и концы всех частей. Если полярности всех частей известны, могут быть выполнены последовательное и параллельное соединения. Полярности начал частей одной и той же обмотки ($A1_1$, $A1_3$, $A1_5$ или $A2_1$, $A2_3$, $A2_5$ ...) определяются по значению $d$: они попеременно изменяются, если $d$ — нечетное число; они все одинаковы, если $d$ — четное число. Полярности начал первых частей различных обмоток ($A1_1$, $A2_1$, $A3_1$,... или $B1_1$, $B2_1$, $B3_1$,...) лучше всего определять по общему правилу, приведенному в § 7-6.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ↑ $A1_1$ | ↓ $A1_3$ | ↑ $A1_5$ | ↑ $A1_1$ | ↓ $A1_3$ | ↑ $A1_5$ |
| ↓ $A2_1$ | ↑ $A2_3$ | ↓ $A2_5$ | ↑ $A2_1$ | ↓ $A2_3$ | ↑ $A2_5$ |
| ↑ $A3_1$ | ↓ $A3_3$ | ↑ $A3_5$ | ↓ $A3_1$ | ↑ $A3_3$ | ↓ $A3_5$ |
| ↑ $C1_1$ | ↓ $C1_3$ | ↑ $C1_5$ | ↑ $C1_1$ | ↓ $C1_3$ | ↑ $C1_5$ |
| ↓ $C2_1$ | ↑ $C2_3$ | ↓ $C2_5$ | ↑ $C2_1$ | ↓ $C2_3$ | ↑ $C2_5$ |
| ↓ $C3_1$ | ↑ $C3_3$ | ↓ $C3_5$ | ↓ $C3_1$ | ↑ $C3_3$ | ↓ $C3_5$ |
| ↑ $B1_1$ | ↓ $B1_3$ | ↑ $B1_5$ | ↑ $B1_1$ | ↓ $B1_3$ | ↑ $B1_5$ |
| ↑ $B2_1$ | ↓ $B2_3$ | ↑ $B2_5$ | ↓ $B2_1$ | ↑ $B2_3$ | ↓ $B2_5$ |
| ↓ $B3_1$ | ↑ $B3_3$ | ↓ $B3_5$ | ↓ $B3_1$ | ↑ $B3_3$ | ↓ $B3_5$ |

$a = \pm 3$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно нечетному числу;   $a = \pm 3$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно четному числу.

Рис. 7-51. Полярности начал и концов всех 3 фаз обмотки при $a = \pm 3$, $d$, равном нечетному числу, $P$, равном нечетному числу и $a = \pm 3$, $d$, равном нечетному числу, $P$, равном четному числу.

(когда $d$ равно четному числу, $a$ не может быть равно $\pm 3$).

На этом рисунке показаны только полярности начал 3 сплетенных обмоток. Полярности концов противоположны полярностям начал. Три обмотки не могут быть соединены параллельно; они должны быть соединены последовательно. Цифра 1, следующая за обозначающей фазу буквой, относится к первой из сплетенных обмоток; цифра 2, следующая за обозначающей фазу буквой, относится ко второй из сплетенных обмоток; цифра 3, следующая за обозначающей фазу буквой, относится к третьей из сплетенных обмоток, индексы 1, 3, 5 и т. д. относятся к началам частей сплетенных обмоток.

Полярности первых частей первой обмотки ($A1_1$, $B1_1$, $C1_1$) могут быть приняты произвольно. После этого по правилам для определения полярностей определяются полярности всех других частей. Например, при $a = \pm 3$, $d$, равном нечетному числу, и $P$, равном нечетному или четному числу, полярности будут такими, как указано на рис. 7-51. На рис. 7-43 представлена полная схема обмотки при $a = +3$, $d$, равном нечетному числу, и $P$, равном нечетному числу. Для соединения частей следует использовать рис. 7-51.

**7-13. Составление схем для 2 или более параллельных ветвей.** В отличие от волновых обмоток с целым числом и (целым числом$+{}^1/_2$) пазов на полюс и фазу, в которых каждая фаза состоит из 2 частей, обмотки, рассматриваемые в данной главе, имеют $\left(\frac{\text{число полюсов}}{d} \times a\right)$ частей на фазу. Для первых обмоток в § 6-9 и 6-10 указывались способы, позволяющие получить 2 или более параллельных ветвей. Для обмоток, рассматриваемых в данной главе, при составлении их схем для 2 или более параллельных ветвей следует пользоваться точно такими же правилами, как и при последовательном соединении (найти части обмотки, полярности их начал и концов, выбрать наиболее короткие перемычки). Число параллельных ветвей ограничивается условиями, изложенными в § 7-5. Необходимые соединения частей в параллельные ветви выполняются с учетом полярностей их начал и концов, определяемых значениями $d$ и $P$, как показано в § 7-6.

Таблица 7-1

**Таблица соединений для 84 пазов, 10 полюсов и ППФ $= 2^4/_5$ ($y = 17$; $y_з = 8$; $y_п = 9$; $a = +1$; $d$ равно нечетному числу)**
(см. рабочую схему на рис. 7-1)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза A: Верхние выводы: начала | Фаза A: Нижние выводы: концы | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: начала | Фаза B: Нижние выводы: концы | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: начала | Фаза C: Нижние выводы: концы | Фаза C: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 14 | ↑ | $A_1 = 1$ | $A_2 = 62$ | ↓ | ↑ | $B_1 = 15$ | $B_2 = 76$ | ↓ | ↑ | $C_1 = 29$ | $C_2 = 6$ | ↓ |
| | 14 | ↓ | $A_3 = 43$ | $A_4 = 20$ | ↑ | ↓ | $B_3 = 57$ | $B_4 = 34$ | ↑ | ↓ | $C_3 = 71$ | $C_4 = 43$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_3$ |
| | $B_3$ | $B_2 \to B_4$ | $B_1$ | $B_1 \to C_1$ |
| | $C_1$ | $C_2 \to C_4$ | $C_3$ | $C_3 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_2 \to B_3$ |
| | $B_2 \to B_3$ | — | $B_1 \to B_4$ | $B_1 \to B_4 \to C_1 \to C_4$ |
| | $C_1 \to C_4$ | — | $C_2 \to C_3$ | $C_2 \to C_3 \to A_1 \to A_4$ |

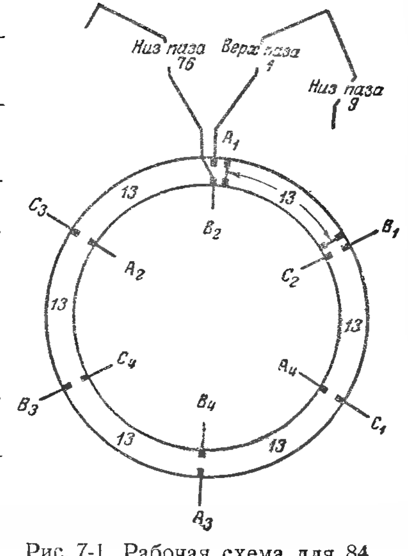



Рис. 7-1. Рабочая схема для 84 пазов, 10 полюсов, ППФ$=2^4/_5$.

Таблица 7-2

**Таблица соединений для 168 пазов, 20 полюсов и ППФ $= 2^4/_5$ ($y = 17$; $y_з = 8$; $y_п = 9$; $a = +1$; $d$ равно нечетному числу)**
(см. рабочую схему на рис. 7-2)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза A: Верхние выводы: начала | Фаза A: Нижние выводы: концы | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: начала | Фаза B: Нижние выводы: концы | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: начала | Фаза C: Нижние выводы: концы | Фаза C: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 14 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=62$ | ↓ | ↑ | $B_1=15$ | $B_2=76$ | ↓ | ↑ | $C_1=29$ | $C_2=90$ | ↓ |
| | 14 | ↓ | $A_3=43$ | $A_4=104$ | ↑ | ↓ | $B_3=57$ | $B_4=118$ | ↑ | ↓ | $C_3=71$ | $C_4=132$ | ↑ |
| | 14 | ↑ | $A_5=85$ | $A_6=146$ | ↓ | ↑ | $B_5=99$ | $B_6=160$ | ↓ | ↑ | $C_5=113$ | $C_6=6$ | ↓ |
| | 14 | ↓ | $A_7=127$ | $A_8=20$ | ↑ | ↓ | $B_7=141$ | $B_8=34$ | ↑ | ↓ | $C_7=155$ | $C_8=48$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ $A_3 \to A_5$ $A_6 \to A_8$ | $A_7$ | $A_7 \to C_5$ |
| | $B_3$ | $B_4 \to B_6$ $B_5 \to B_7$ $B_2 \to B_8$ | $B_1$ | $B_1 \to A_1$ |
| | $C_5$ | $C_2 \to C_4$ $C_1 \to C_7$ $C_6 \to C_8$ | $C_3$ | $C_3 \to B_3$ |
| 2 | $A_1 \to A_8$ | $A_2 \to A_4$ $A_5 \to A_7$ | $A_3 \to A_6$ | $A_3 \to A_6 \to B_2 \to B_3$ |
| | $B_2 \to B_3$ | $B_4 \to B_6$ $B_1 \to B_7$ | $B_5 \to B_8$ | $B_5 \to B_8 \to C_4 \to C_5$ |
| | $C_4 \to C_5$ | $C_1 \to C_3$ $C_6 \to C_8$ | $C_2 \to C_7$ | $C_2 \to C_7 \to A_1 \to A_8$ |
| 4 | $A_1 \to A_4 \to A_5 \to A_8$ | — | $A_2 \to A_3 \to A_6 \to A_7$ | $A_2 \to A_3 \to A_6 \to A_7 \to B_2 \to B_3 \to B_6 \to B_7$ |
| | $B_2 \to B_3 \to B_6 \to B_7$ | — | $B_1 \to B_4 \to B_5 \to B_8$ | $B_1 \to B_4 \to B_5 \to B_8 \to C_1 \to C_4 \to C_5 \to C_8$ |
| | $C_1 \to C_4 \to C_5 \to C_8$ | — | $C_2 \to C_3 \to C_6 \to C_7$ | $C_2 \to C_3 \to C_6 \to C_7 \to A_1 \to A_4 \to A_5 \to A_8$ |

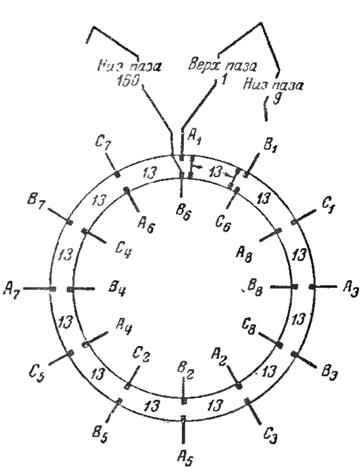



Рис. 7-2. Рабочая схема для 168 пазов, 20 полюсов, ППФ$=2^4/_5$.

Таблица 7-3

**Таблица соединений для 144 пазов, 10 полюсов и ППФ = $4^1/_5$**
**($y=29$; $y_з=14$; $y_п=15$; $a=+1$; $d$ равно нечетному числу)**
(см. рабочую схему на рис. 7-3)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А | | | | Фаза В | | | | Фаза С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 24 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=106$ | ↓ | ↑ | $B_1=25$ | $B_2=130$ | ↓ | ↑ | $C_1=49$ | $C_2=10$ | ↓ |
| | 24 | ↓ | $A_3=73$ | $A_4=34$ | ↑ | ↓ | $B_3=97$ | $B_4=58$ | ↑ | ↓ | $C_3=121$ | $C_4=82$ | ↑ |



**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_3$ |
| | $B_3$ | $B_2 \to B_4$ | $B_1$ | $B_1 \to C_1$ |
| | $C_1$ | $C_2 \to C_4$ | $C_3$ | $C_3 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_2 \to B_3$ |
| | $B_2 \to B_3$ | — | $B_1 \to B_4$ | $B_1 \to B_4 \to C_1 \to C_4$ |
| | $C_1 \to C_4$ | — | $C_2 \to C_3$ | $C_2 \to C_3 \to A_1 \to A_4$ |

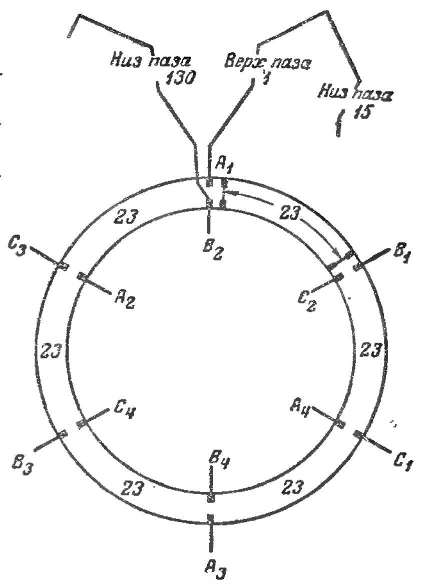



Рис. 7-3. Рабочая схема для 144 пазов, 10 полюсов, ППФ=$4^1/_5$.

Рис. 7-4. Рабочая схема для 96 пазов, 10 полюсов, ППФ=$3^1/_5$.

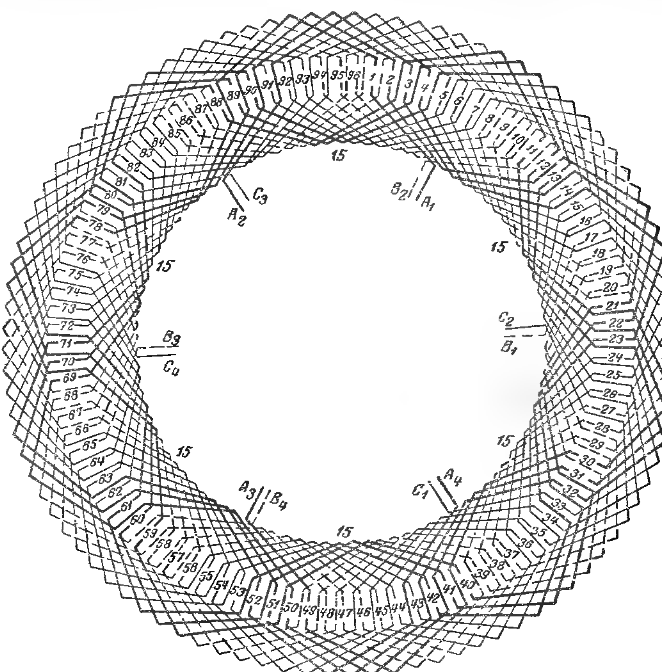


Рис. 7 4а. Полная схема для 96 пазов, 10 полюсов, ППФ=$3^1/_5$.

Таблица 7-4

**Таблица соединений для 96 пазов, 10 полюсов и ППФ = $3^1/_5$**
**($y = 19$; $y_з = 9$; $y_n = 10$; $a = -1$; $d$ равно нечетному числу)**
**(см. рабочую схему на рис. 7-4)**

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 16 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=91$ | ↓ | ↑ | $B_1=17$ | $B_2=11$ | ↓ | ↑ | $C_1=33$ | $C_2=27$ | ↓ |
| | 16 | ↓ | $A_3=49$ | $A_4=43$ | ↑ | ↓ | $B_3=65$ | $B_4=59$ | ↑ | ↓ | $C_3=81$ | $C_4=75$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \rightarrow A_4$ | $A_3$ | $A_3 \rightarrow B_3$ |
| | $B_3$ | $B_2 \rightarrow B_4$ | $B_1$ | $B_1 \rightarrow C_1$ |
| | $C_1$ | $C_2 \rightarrow C_4$ | $C_3$ | $C_3 \rightarrow A_1$ |
| 2 | $A_1 \rightarrow A_4$ | — | $A_2 \rightarrow A_3$ | $A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow B_2 \rightarrow B_3$ |
| | $B_2 \rightarrow B_3$ | — | $B_1 \rightarrow B_4$ | $B_1 \rightarrow B_4 \rightarrow C_1 \rightarrow C_4$ |
| | $C_1 \rightarrow C_4$ | — | $C_2 \rightarrow C$ | $C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow A_1 \rightarrow A_1$ |

Таблица 7-5

**Таблица соединений для 192 пазов, 20 полюсов и ППФ = $3^1/_5$**
**($y = 19$; $y_з = 9$; $y_n = 10$; $a = -1$; $d$ равно нечетному числу)**
**(см. рабочую схему на рис. 7-5)**

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 16 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=91$ | ↓ | ↑ | $B_1=17$ | $B_2=107$ | ↓ | ↑ | $C_1=33$ | $C_2=123$ | ↓ |
| | 16 | ↓ | $A_3=49$ | $A_4=139$ | ↑ | ↓ | $B_3=65$ | $B_4=155$ | ↑ | ↓ | $C_3=81$ | $C_4=171$ | ↑ |
| | 16 | ↑ | $A_5=97$ | $A_6=187$ | ↓ | ↑ | $B_5=113$ | $B_6=11$ | ↓ | ↑ | $C_5=129$ | $C_6=27$ | ↓ |
| | 16 | ↓ | $A_7=145$ | $A_8=43$ | ↑ | ↓ | $B_7=161$ | $B_8=59$ | ↑ | ↓ | $C_7=177$ | $C_8=75$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \rightarrow A_4$ $A_3 \rightarrow A_5$ $A_6 \rightarrow A_8$ | $A_7$ | $A_7 \rightarrow C_5$ |
| | $B_3$ | $B_4 \rightarrow B_6$ $B_5 \rightarrow B_7$ $B_2 \rightarrow B_8$ | $B_1$ | $B_1 \rightarrow A_1$ |
| | $C_5$ | $C_2 \rightarrow C_4$ $C_1 \rightarrow C_7$ $C_6 \rightarrow C_8$ | $C_3$ | $C_3 \rightarrow B_3$ |
| 2 | $A_1 \rightarrow A_8$ | $A_2 \rightarrow A_4$ $A_5 \rightarrow A_7$ | $A_3 \rightarrow A_6$ | $A_3 \rightarrow A_6 \rightarrow B_2 \rightarrow B_3$ |
| | $B_2 \rightarrow B_3$ | $B_4 \rightarrow B_6$ $B_1 \rightarrow B_7$ | $B_5 \rightarrow B_8$ | $B_5 \rightarrow B_8 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$ |
| | $C_4 \rightarrow C_5$ | $C_1 \rightarrow C_3$ $C_6 \rightarrow C_8$ | $C_2 \rightarrow C_7$ | $C_2 \rightarrow C_7 \rightarrow A_1 \rightarrow A_8$ |
| 4 | $A_1 \rightarrow A_4 \rightarrow A_5 \rightarrow A_8$ | — | $A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_6 \rightarrow A_7$ | $A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_6 \rightarrow A_7 \rightarrow B_2 \rightarrow B_3 \rightarrow B_6 \rightarrow B_7$ |
| | $B_2 \rightarrow B_3 \rightarrow B_6 \rightarrow B_7$ | — | $B_1 \rightarrow B_4 \rightarrow B_5 \rightarrow B_8$ | $B_1 \rightarrow B_4 \rightarrow B_5 \rightarrow B_8 \rightarrow C_1 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_8$ |
| | $C_1 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_8$ | — | $C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_6 \rightarrow C_7$ | $C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_6 \rightarrow C_7 \rightarrow A_1 \rightarrow A_4 \rightarrow A_5 \rightarrow$ > |

Рис. 7-5. Рабочая схема для 192 пазов, 20 полюсов, ППФ=$3^1/_5$.

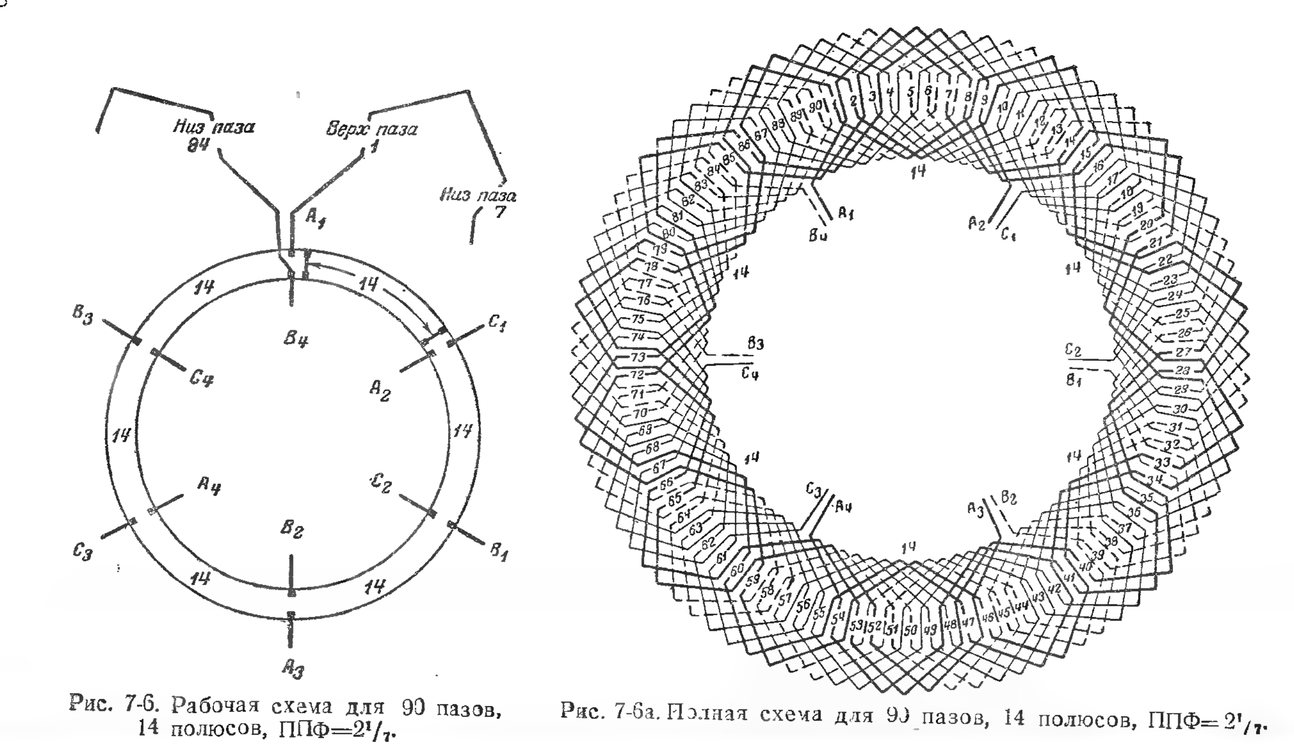



Рис. 7-6. Рабочая схема для 90 пазов, 14 полюсов, ППФ=$2^1/_7$.

Рис. 7-6а. Полная схема для 90 пазов, 14 полюсов, ППФ=$2^1/_7$.

Таблица 7-6

**Таблица соединений для 90 пазов, 14 полюсов и ППФ = $2^1/_7$**
($y = 13$; $y_з = 6$; $y_n = 7$; $a = +1$; $d$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-6)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 15 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=9$ | ↓ | ↑ | $B_1=31$ | $B_2=39$ | ↓ | ↑ | $C_1=16$ | $C_2=24$ | ↓ |
| | 15 | ↓ | $A_3=46$ | $A_4=54$ | ↑ | ↓ | $B_3=76$ | $B_4=84$ | ↑ | ↓ | $C_3=61$ | $C_4=69$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_1$ |

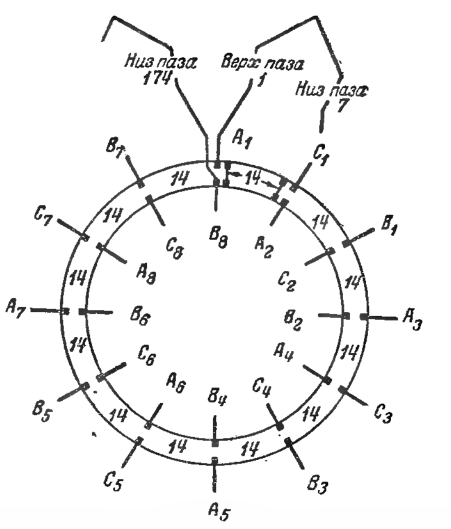



Рис. 7-7. Рабочая схема для 180 пазов, 28 полюсов, ППФ=$2^1/_7$.

Таблица 7-7

**Таблица соединений для 180 пазов, 28 полюсов и ППФ = $2^1/_7$**
**($y = 13$; $y_з = 6$; $y_n = 7$; $a = +1$; $d$ равно нечетному числу)**
**(см. рабочую схему на рис. 7-7)**

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 15 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=9$ | ↓ | ↑ | $B_1=31$ | $B_2=39$ | ↓ | ↑ | $C_1=16$ | $C_2=24$ | ↓ |
| | 15 | ↓ | $A_3=46$ | $A_4=54$ | ↑ | ↓ | $B_3=76$ | $B_4=84$ | ↑ | ↓ | $C_3=61$ | $C_4=69$ | ↑ |
| | 15 | ↑ | $A_5=91$ | $A_6=99$ | ↓ | ↑ | $B_5=121$ | $B_6=129$ | ↓ | ↑ | $C_5=106$ | $C_6=114$ | ↓ |
| | 15 | ↓ | $A_7=136$ | $A_8=144$ | ↑ | ↓ | $B_7=166$ | $B_8=174$ | ↑ | ↓ | $C_7=151$ | $C_8=159$ | ↑ |

## Соединения частей

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ $A_3 \to A_5$ $A_6 \to A_8$ | $A_7$ | $A_7 \to B_5$ |
| | $B_5$ | $B_2 \to B_4$ $B_1 \to B_7$ $B_6 \to B_8$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_4 \to C_6$ $C_5 \to C_7$ $C_2 \to C_8$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_8$ | $A_2 \to A_4$ $A_5 \to A_7$ | $A_3 \to A_6$ | $A_3 \to A_6 \to B_4 \to B_5$ |
| | $B_4 \to B_5$ | $B_6 \to B_8$ $B_1 \to B_3$ | $B_7 \to B_2$ | $B_7 \to B_2 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | $C_1 \to C_7$ $C_4 \to C_6$ | $C_8 \to C_5$ | $C_8 \to C_5 \to A_1 \to A_8$ |
| 4 | $A_1 \to A_4 \to A_5 \to A_8$ | — | $A_2 \to A_3 \to A_6 \to A_7$ | $A_2 \to A_3 \to A_6 \to A_7 \to B_1 \to B_4 \to B_5 \to B_8$ |
| | $B_1 \to B_4 \to B_5 \to B_8$ | — | $B_2 \to B_3 \to B_6 \to B_7$ | $B_2 \to B_3 \to B_6 \to B_7 \to C_2 \to C_3 \to C_6 \to C_7$ |
| | $C_2 \to C_3 \to C_6 \to C_7$ | — | $C_1 \to C_4 \to C_5 \to C_8$ | $C_1 \to C_4 \to C_5 \to C_8 \to A_1 \to A_4 \to A_5 \to A_8$ |

Таблица 7-8

**Таблица соединений для 240 пазов, 14 полюсов и ППФ = $5\,^5/_7$**
($y = 34$; $y_з = 17$; $y_п = 17$; $a = -2$; $d$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-8)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Нижние выводы: поляр-ность | Фаза А: Нижние выводы: начала | Фаза А: Верхние выводы: концы | Фаза А: Верхние выводы: поляр-ность | Фаза В: Нижние выводы: поляр-ность | Фаза В: Нижние выводы: начала | Фаза В: Верхние выводы: концы | Фаза В: Верхние выводы: поляр-ность | Фаза С: Нижние выводы: поляр-ность | Фаза С: Нижние выводы: начала | Фаза С: Верхние выводы: концы | Фаза С: Верхние выводы: поляр-ность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 20 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=58$ | ↓ | ↑ | $B1_1=81$ | $B1_2=138$ | ↓ | ↑ | $C1_1=41$ | $C1_2=98$ | ↓ |
| | 20 | ↑ | $A2_1=104$ | $A2_2=161$ | ↓ | ↓ | $B2_1=64$ | $B2_2=121$ | ↑ | ↓ | $C2_1=24$ | $C2_2=81$ | ↑ |
| | 20 | ↓ | $A1_3=121$ | $A1_4=178$ | ↑ | ↓ | $B1_3=201$ | $B1_4=18$ | ↑ | ↓ | $C1_3=161$ | $C1_4=218$ | ↑ |
| | 20 | ↓ | $A2_3=224$ | $A2_4=41$ | ↑ | ↑ | $B2_3=184$ | $B2_4=1$ | ↓ | ↑ | $C2_3=144$ | $C2_4=201$ | ↓ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$ $A2_1 \to A2_3$ $A1_4 \to A2_2$ | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ $B2_1 \to B2_3$ $B1_4 \to B2_4$ | $B1_3$ | $B1_3 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C2_3$ $C1_4 \to C2_4$ | $C1_1$ | $C1_1 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_4$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_3 \to A2_1$ | $A2_2 \to A2_3$ | $A2_2 \to A2_3 \to B1_1 \to B1_4$ |
| | $B1_1 \to B1_4$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_3 \to B2_3$ | $B2_1 \to B2_4$ | $B2_1 \to B2_4 \to C1_2 \to C1_3$ |
| | $C1_2 \to C1_3$ | $C1_4 \to C2_4$ $C1_1 \to C2_1$ | $C2_2 \to C2_3$ | $C2_2 \to C2_3 \to A1_1 \to A1_4$ |

Рис. 7-8. Рабочая схема для 240 пазов, 14 полюсов, ППФ=$5^5/_7$.



Таблица 7-9

**Таблица соединений для 120 пазов, 14 полюсов и ППФ=$2\,^6/_7$**
($y = 17$; $y_з = 8$; $y_п = 9$; $a = -1$; $d$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-9)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Нижние выводы: поляр-ность | Фаза А: Нижние выводы: начала | Фаза А: Верхние выводы: концы | Фаза А: Верхние выводы: поляр-ность | Фаза В: Нижние выводы: поляр-ность | Фаза В: Нижние выводы: начала | Фаза В: Верхние выводы: концы | Фаза В: Верхние выводы: поляр-ность | Фаза С: Нижние выводы: поляр-ность | Фаза С: Нижние выводы: начала | Фаза С: Верхние выводы: концы | Фаза С: Верхние выводы: поляр-ность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 20 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=30$ | ↓ | ↑ | $B_1=41$ | $B_2=70$ | ↓ | ↑ | $C_1=21$ | $C_2=50$ | ↓ |
| | 20 | ↓ | $A_3=61$ | $A_4=90$ | ↑ | ↓ | $B_3=101$ | $B_4=10$ | ↑ | ↓ | $C_3=81$ | $C_4=110$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

Рис. 7-9. Рабочая схема для 120 пазов, 14 полюсов, ППФ=$2^6/_7$.

Таблица 7-10

## Таблица соединений для 240 пазов, 28 полюсов и ППФ=$2^6/_7$

($y=17$; $y_з=8$; $y_п=9$; $a=-1$; $d$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-10)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Нижние выводы: полярность | Фаза А: Нижние выводы: начала | Фаза А: Верхние выводы: концы | Фаза А: Верхние выводы: полярность | Фаза В: Нижние выводы: полярность | Фаза В: Нижние выводы: начала | Фаза В: Верхние выводы: концы | Фаза В: Верхние выводы: полярность | Фаза С: Нижние выводы: полярность | Фаза С: Нижние выводы: начала | Фаза С: Верхние выводы: концы | Фаза С: Верхние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 20 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=150$ | ↓ | ↑ | $B_1=41$ | $B_2=190$ | ↓ | ↑ | $C_1=21$ | $C_2=170$ | ↓ |
| | 20 | ↓ | $A_3=61$ | $A_4=210$ | ↑ | ↓ | $B_3=101$ | $B_4=10$ | ↑ | ↓ | $C_3=81$ | $C_4=230$ | ↑ |
| | 20 | ↑ | $A_5=121$ | $A_6=30$ | ↓ | ↑ | $B_5=161$ | $B_6=70$ | ↓ | ↑ | $C_5=141$ | $C_6=50$ | ↓ |
| | 20 | ↓ | $A_7=181$ | $A_8=90$ | ↑ | ↓ | $B_7=221$ | $B_8=130$ | ↑ | ↓ | $C_7=201$ | $C_8=110$ | ↑ |

### Соединения частей

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2\to A_4$ $A_3\to A_5$ $A_6\to A_8$ | $A_7$ | $A_7\to B_5$ |
| | $B_5$ | $B_2\to B_4$ $B_1\to B_7$ $B_6\to B_8$ | $B_3$ | $B_3\to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_4\to C_6$ $C_5\to C_7$ $C_2\to C_8$ | $C_1$ | $C_1\to A_1$ |
| 2 | $A_1\to A_4$ | $A_3\to A_5$ $A_2\to A_8$ | $A_6\to A_7$ | $A_6\to A_7\to B_5\to B_8$ |
| | $B_5\to B_8$ | $B_4\to B_6$ $B_1\to B_7$ | $B_2\to B_3$ | $B_2\to B_3\to C_3\to C_6$ |
| | $C_3\to C_6$ | $C_2\to C_4$ $C_5\to C_7$ | $C_1\to C_8$ | $C_1\to C_8\to A_1\to A_4$ |
| 4 | $A_1\to A_4\to A_5\to A_8$ | — | $A_2\to A_3\to A_6\to A_7$ | $A_2\to A_3\to A_6\to A_7\to B_1\to B_4\to B_5\to B_8$ |
| | $B_1\to B_4\to B_5\to B_8$ | — | $B_2\to B_3\to B_6\to B_7$ | $B_2\to B_3\to B_6\to B_7\to C_2\to C_3\to C_6\to C_7$ |
| | $C_2\to C_3\to C_6\to C_7$ | — | $C_1\to C_4\to C_5\to C_8$ | $C_1\to C_4\to C_5\to C_8\to A_1\to A_4\to A_5\to A_8$ |

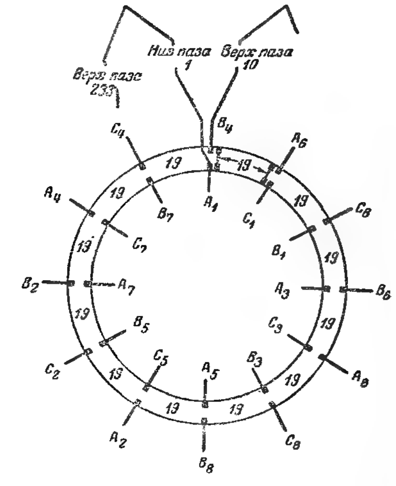



Рис. 7-10. Рабочая схема для 240 пазов, 28 полюсов, ППФ=$2^6/_7$.



Таблица [illegible]

## Таблица соединений для 120 пазов, 22 полюсов и ППФ = $1^9/_{11}$

($y=11$; $y_з=5$; $y_п=6$; $a=+1$; $d$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-11)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Верхние выводы: полярность | Фаза А: Верхние выводы: начала | Фаза А: Нижние выводы: концы | Фаза А: Нижние выводы: полярность | Фаза В: Верхние выводы: полярность | Фаза В: Верхние выводы: начала | Фаза В: Нижние выводы: концы | Фаза В: Нижние выводы: полярность | Фаза С: Верхние выводы: полярность | Фаза С: Верхние выводы: начала | Фаза С: Нижние выводы: концы | Фаза С: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 20 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=95$ | ↓ | ↑ | $B_1=21$ | $B_2=115$ | ↓ | ↑ | $C_1=41$ | $C_2=15$ | ↓ |
| | 20 | ↓ | $A_3=61$ | $A_4=35$ | ↑ | ↓ | $B_3=81$ | $B_4=35$ | ↑ | ↓ | $C_3=101$ | $C_4=75$ | ↑ |

### Соединения частей

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2\to A_4$ | $A_3$ | $A_3\to B_3$ |
| | $B_3$ | $B_2\to B_4$ | $B_1$ | $B_1\to C_1$ |
| | $C_1$ | $C_2\to C_4$ | $C_3$ | $C_3\to A_1$ |
| 2 | $A_1\to A_4$ | — | $A_2\to A_3$ | $A_2\to A_3\to B_2\to B_3$ |
| | $B_2\to B_3$ | — | $B_1\to B_4$ | $B_1\to B_4\to C_1\to C_4$ |
| | $C_1\to C_4$ | — | $C_2\to C_3$ | $C_2\to C_3\to A_1\to A_4$ |

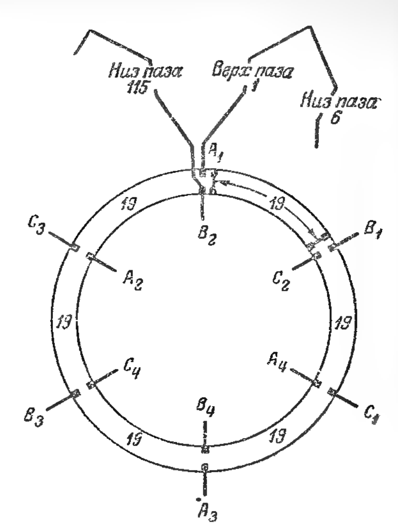



Рис. 7-11. Рабочая схема для 120 пазов, 22 полюсов, ППФ=$1^9/_{11}$.

Таблица 7-12

**Таблица соединений для 144 пазов, 22 полюсов и ППФ $=2^2/_{11}$**
($y=13$; $y_з=6$; $y_п=7$; $a=-1$; $d$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-12)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Нижние выводы: полярность | Фаза А: Нижние выводы: начала | Фаза А: Верхние выводы: концы | Фаза А: Верхние выводы: полярность | Фаза В: Нижние выводы: полярность | Фаза В: Нижние выводы: начала | Фаза В: Верхние выводы: концы | Фаза В: Верхние выводы: полярность | Фаза С: Нижние выводы: полярность | Фаза С: Нижние выводы: начала | Фаза С: Верхние выводы: концы | Фаза С: Верхние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 24 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=128$ | ↓ | ↑ | $B_1=25$ | $B_2=8$ | ↓ | ↑ | $C_1$—49 | $C_2=32$ | ↓ |
| | 24 | ↓ | $A_3=73$ | $A_4=56$ | ↑ | ↓ | $B_3$—97 | $B_4=80$ | ↑ | ↓ | $C_3=121$ | $C_4=104$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_3$ |
| | $B_3$ | $B_2 \to B_4$ | $B_1$ | $B_1 \to C_1$ |
| | $C_1$ | $C_2 \to C_4$ | $C_3$ | $C_3 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_2 \to B_3$ |
| | $B_2 \to B_3$ | — | $B_1 \to B_4$ | $B_1 \to B_4 \to C_1 \to C_4$ |
| | $C_1 \to C_4$ | — | $C_2 \to C_3$ | $C_2 \to C_3 \to A_1 \to A_4$ |

Рис. 7-12. Рабочая схема для 144 пазов, 22 полюсов, ППФ$=2^2/_{11}$.

Таблица 7-13

**Таблица соединений для 240 пазов, 22 полюсов и ППФ$=3\,^7/_{11}$**
($y=22$; $y_з=11$; $y_п=11$; $a=+2$; $d$ равно нечетному числу;
$P$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-13)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Верхние выводы: полярность | Фаза А: Верхние выводы: начала | Фаза А: Нижние выводы: концы | Фаза А: Нижние выводы: полярность | Фаза В: Верхние выводы: полярность | Фаза В: Верхние выводы: начала | Фаза В: Нижние выводы: концы | Фаза В: Нижние выводы: полярность | Фаза С: Верхние выводы: полярность | Фаза С: Верхние выводы: начала | Фаза С: Нижние выводы: концы | Фаза С: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 20 | ↑ | A1₁=1 | A1₂=190 | ↓ | ↑ | B1₁=41 | B1₂=230 | ↓ | ↑ | C1₁=81 | C1₂=30 | ↓ |
| | 20 | ↓ | A2₁=12 | A2₂=201 | ↑ | ↓ | B2₁=52 | B2₂=1 | ↑ | ↓ | C2₁=92 | C2₂=41 | ↑ |
| | 20 | ↓ | A1₃=121 | A1₄=70 | ↑ | ↓ | B1₃=161 | B1₄=110 | ↑ | ↓ | C1₃=201 | C1₄=150 | ↑ |
| | 20 | ↑ | A2₃=132 | A2₄=81 | ↓ | ↑ | B2₃=172 | B2₄=121 | ↓ | ↑ | C2₃=212 | C2₁=161 | ↓ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | A1₁ | A1₂→A2₂ A2₁→A2₃ A1₄→A2₄ | A1₃ | A1₃→B1₃ |
| | B1₃ | B1₂→B2₂ B2₁→B2₃ B1₄→B2₄ | B1₁ | B1₁→C1₁ |
| | C1₁ | C1₂→C2₂ C2₁→C2₃ C1₄→C2₄ | C1₃ | C1₃→A1₁ |
| 2 | A1₁→A1₄ | A1₂→A2₂ A1₃→A2₃ | A2₁→A2₄ | A2₁→A2₄→B1₂→B1₃ |
| | B1₂→B1₃ | B1₁→B2₁ B1₄→B2₄ | B2₂→B2₃ | B2₂→B2₃→C1₁→C1₄ |
| | C1₁→C1₄ | C1₂→C2₂ C1₃→C2₃ | C2₁→C2₄ | C2₁- C2₄→A1₁→A1₄ |

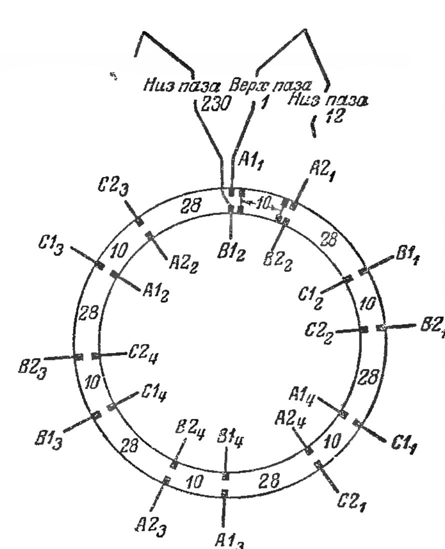


Рис. 7-13. Рабочая схема для 240 пазов, 22 полюсов, ППФ$=3^7/_{11}$.

Таблица 7-14

**Таблица соединений для 144 пазов, 26 полюсов и ППФ = $1\,^{11}/_{13}$;**
($y = 11$; $y_з = 5$; $y_п = 6$; $a = -1$; $d$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-14)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | | | Фаза B | | | | | | Фаза C | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | | |
| | | поляр-ность | начала | концы | поляр-ность | | | поляр-ность | начала | концы | поляр-ность | | | поляр-ность | начала | концы | поляр-ность | | |
| 2 | 24 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=31$ | ↓ | | | ↑ | $B_1=49$ | $B_2=79$ | ↓ | | | ↑ | $C_1=25$ | $C_2=55$ | ↓ | | |
| | 24 | ↓ | $A_3=73$ | $A_4=103$ | ↑ | | | ↓ | $B_3=121$ | $B_4=7$ | ↑ | | | ↓ | $C_3=97$ | $C_4=127$ | ↑ | | |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

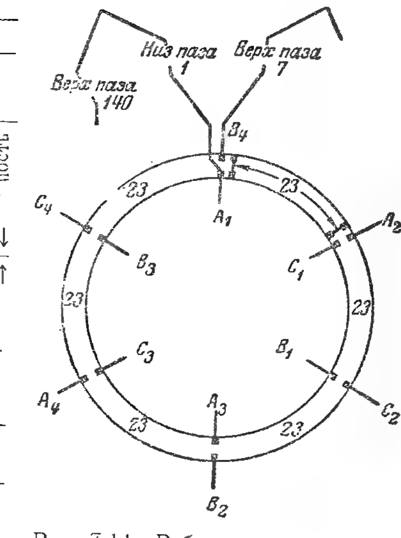



Рис. 7-14. Рабочая схема для 144 пазов, 26 полюсов, ППФ=$1^{11}/_{13}$.

Таблица 7-15

**Таблица соединений для 168 пазов, 26 полюсов и ППФ = $2\,^{2}/_{13}$**
($y = 13$; $y_з = 6$; $y_п = 7$; $a = +1$; $d$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-15)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | | | Фаза B | | | | | | Фаза C | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | | |
| | | поляр-ность | начала | концы | поляр-ность | | | поляр-ность | начала | концы | поляр-ность | | | поляр-ность | начала | концы | поляр-ность | | |
| 2 | 28 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=22$ | ↓ | | | ↑ | $B_1=57$ | $B_2=78$ | ↓ | | | ↑ | $C_1=29$ | $C_2=50$ | ↓ | | |
| | 28 | ↓ | $A_3=85$ | $A_4=106$ | ↑ | | | ↓ | $B_3=141$ | $B_4=162$ | ↑ | | | ↓ | $C_3=113$ | $C_4=134$ | ↑ | | |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотное соединение (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

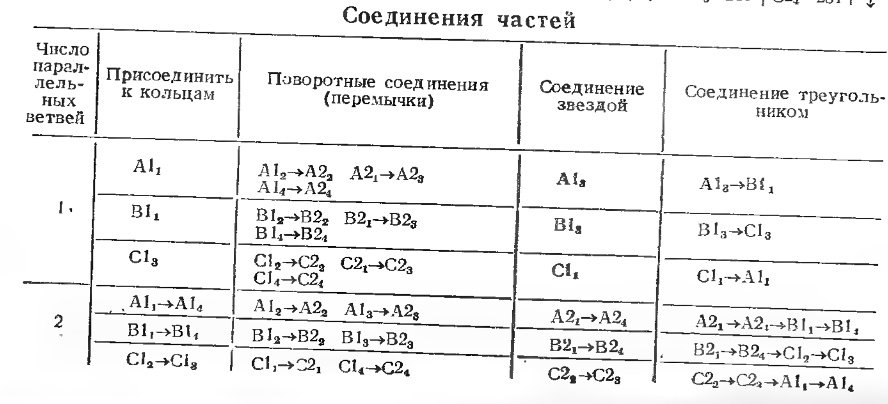
Рис. 7-15. Рабочая схема для 168 пазов, 26 полюсов, ППФ=$2^{2}/_{13}$.

Таблица 7-16

**Таблица соединений для 336 пазов, 26 полюсов и ППФ=$4\,{}^{4}/_{13}$**
($y=26$; $y_з=13$; $y_п=13$; $a=+2$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно нечетному числу) (см. рабочую схему на рис. 7-16)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Верхние выводы, поляр-ность | Фаза A: Верхние выводы, начала | Фаза A: Нижние выводы, концы | Фаза A: Нижние выводы, поляр-ность | Фаза B: Верхние выводы, поляр-ность | Фаза B: Верхние выводы, начала | Фаза B: Нижние выводы, концы | Фаза B: Нижние выводы, поляр-ность | Фаза C: Верхние выводы, поляр-ность | Фаза C: Верхние выводы, начала | Фаза C: Нижние выводы, концы | Фаза C: Нижние выводы, поляр-ность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 28 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=44$ | ↓ | ↑ | $B1_1=113$ | $B1_2=156$ | ↓ | ↑ | $C1_1=57$ | $C1_2=100$ | ↓ |
| | 28 | ↓ | $A2_1=14$ | $A2_2=57$ | ↑ | ↓ | $B2_1=126$ | $B2_2=169$ | ↑ | ↓ | $C2_1=70$ | $C2_2=113$ | ↑ |
| | 28 | ↓ | $A1_3=169$ | $A1_4=212$ | ↑ | ↓ | $B1_3=281$ | $B1_4=324$ | ↑ | ↓ | $C1_3=225$ | $C1_4=268$ | ↑ |
| | 28 | ↑ | $A2_3=182$ | $A2_4=225$ | ↓ | ↑ | $B2_3=294$ | $B2_4=1$ | ↓ | ↑ | $C2_3=238$ | $C2_4=281$ | ↓ |

## Соединения частей



| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2\to A2_2$ $A2_1\to A2_3$ $A1_4\to A2_4$ | $A1_3$ | $A1_3\to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2\to B2_2$ $B2_1\to B2_3$ $B1_4\to B2_4$ | $B1_3$ | $B1_3\to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2\to C2_2$ $C2_1\to C2_3$ $C1_4\to C2_4$ | $C1_1$ | $C1_1\to A1_1$ |
| 2 | $A1_1\to A1_4$ | $A1_2\to A2_2$ $A1_3\to A2_3$ | $A2_1\to A2_4$ | $A2_1\to A2_4\to B1_1\to B1_4$ |
| | $B1_1\to B1_4$ | $B1_2\to B2_2$ $B1_3\to B2_3$ | $B2_1\to B2_4$ | $B2_1\to B2_4\to C1_2\to C1_3$ |
| | $C1_2\to C1_3$ | $C1_1\to C2_1$ $C1_4\to C2_4$ | $C2_2\to C2_3$ | $C2_2\to C2_4\to A1_1\to A1_4$ |

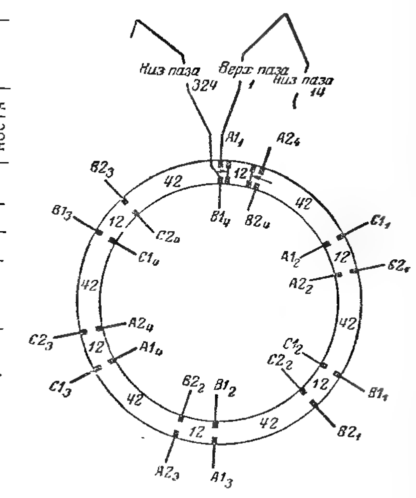



Рис. 7-16. Рабочая схема для 336 пазов, 26 полюсов, ППФ=$4^4/_{13}$.

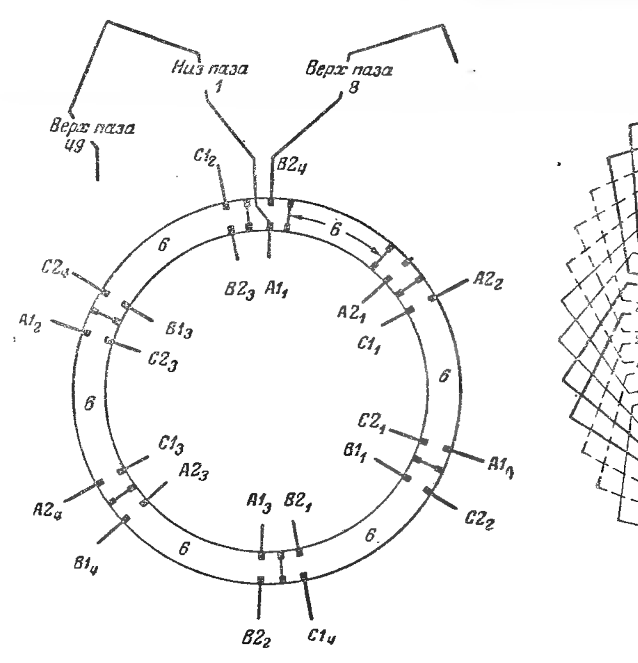



Рис. 7-17. Рабочая схема для 54 пазов, 8 полюсов, ППФ=$2^1/_4$.

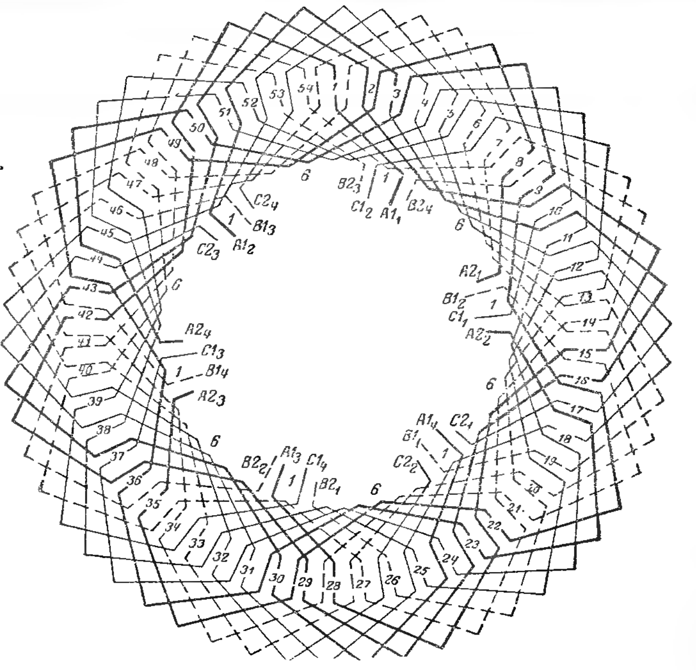


Рис. 7-17а. Полная схема для 54 пазов, 8 полюсов, ППФ=$2^1/_4$.

Таблица 7-17

**Таблица соединений для 54 пазов, 8 полюсов и ППФ=$2^1/_4$**

($y = 13$; $y_з = 6$; $y_п = 7$; $a = -2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-17)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 5 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=51$ | ↓ | ↑ | $B1_1=19$ | $B1_2=15$ | ↓ | ↑ | $C1_1=10$ | $C1_2=6$ | ↓ |
| | 4 | ↓ | $A2_1=8$ | $A2_2=17$ | ↑ | ↓ | $B2_1=26$ | $B2_2=35$ | ↑ | ↓ | $C2_1=17$ | $C2_2=26$ | ↑ |
| | 5 | ↑ | $A1_3=23$ | $A1_4=24$ | ↓ | ↑ | $B1_3=46$ | $B1_4=42$ | ↓ | ↑ | $C1_3=37$ | $C1_4=33$ | ↓ |
| | 4 | ↓ | $A2_3=35$ | $A2_4=44$ | ↑ | ↓ | $B2_3=53$ | $B2_4=8$ | ↑ | ↓ | $C2_3=44$ | $C2_4=53$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2\to A2_4$ $A1_3\to A2_3$ $A1_4\to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1\to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2\to B2_4$ $B1_3\to B2_3$ $B1_4\to B2_4$ | $B2_1$ | $B2_1\to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2\to C2_4$ $C2_1\to C1_1$ $C1_4\to C2_2$ | $C2_3$ | $C2_3\to A1_1$ |
| 2 | $A1_1\to A1_3$ | $A1_2\to A2_4$ $A1_4\to A2_2$ | $A2_1\to A2_3$ | $A2_1\to A2_3\to B1_1\to B1_3$ |
| | $B1_1\to B1_3$ | $B1_2\to B2_4$ $B1_4\to B2_2$ | $B2_1\to B2_3$ | $B2_1\to B2_3\to C1_1\to C1_3$ |
| | $C1_1\to C1_3$ | $C1_2\to C2_4$ $C1_4\to C2_2$ | $C2_1\to C2_3$ | $C2_1\to C2_3\to A1_1\to A1_3$ |

Таблица 7-18

**Таблица соединений для 81 паза, 12 полюсов и ППФ=$2^1/_4$**

($y = 13$; $y_з = 6$; $y_п = 7$; $a = -2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-18)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 6 | 5 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=24$ | ↓ | ↑ | $B1_1=19$ | $B1_2=42$ | ↓ | ↑ | $C1_1=10$ | $C1_2=33$ | ↓ |
| | 4 | ↓ | $A2_1=8$ | $A2_2=44$ | ↑ | ↓ | $B2_1=26$ | $B2_2=62$ | ↑ | ↓ | $C2_1=17$ | $C2_2=53$ | ↑ |
| | 5 | ↑ | $A1_3=23$ | $A1_4=51$ | ↓ | ↑ | $B1_3=46$ | $B1_4=69$ | ↓ | ↑ | $C1_3=37$ | $C1_4=60$ | ↓ |
| | 4 | ↓ | $A2_3=35$ | $A2_4=71$ | ↑ | ↓ | $B2_3=53$ | $B2_4=8$ | ↑ | ↓ | $C2_3=44$ | $C2_4=80$ | ↑ |
| | 5 | ↑ | $A1_5=55$ | $A1_6=78$ | ↓ | ↑ | $B1_5=73$ | $B1_6=15$ | ↓ | ↑ | $C1_5=64$ | $C1_6=6$ | ↓ |
| | 4 | ↓ | $A2_5=62$ | $A2_6=17$ | ↑ | ↓ | $B2_5=80$ | $B2_6=35$ | ↑ | ↓ | $C2_5=71$ | $C2_6=26$ | ↑ |

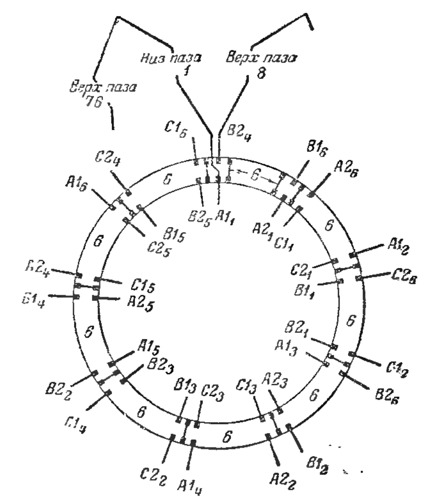



Рис. 7-18. Рабочая схема для 81 паза, 12 полюсов, ППФ=$2^1/_4$.

*Продолжение табл. 7-18*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_6$ $A2_5 \to A1_5$ $A1_6 \to A2_4$ $A2_3 \to A1_3$ $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_6$ $B2_5 \to B1_5$ $B1_6 \to B2_4$ $B2_3 \to B1_3$ $B1_4 \to B2_2$ | $B2_1$ | $B2_1 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_6$ $C2_5 \to C1_5$ $C1_6 \to C2_4$ $C1_1 \to C2_1$ $C1_4 \to C2_2$ | $C2_3$ | $C2_3 \to A1_1$ |
| 3 | $A1_1 \to A1_3 \to A1_5$ | $A1_2 \to A2_6$ $A1_6 \to A2_4$ $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1 \to A2_3 \to A2_5$ | $A2_1 \to A2_3 \to A2_5 \to B1_1 \to B1_3 \to B1_5$ |
| | $B1_1 \to B1_3 \to B1_5$ | $B1_2 \to B2_6$ $B1_6 \to B2_4$ $B1_1 \to B2_2$ | $B2_1 \to B2_3 \to B2_5$ | $B2_1 \to B2_3 \to B2_5 \to C1_1 \to C1_3 \to C1_5$ |
| | $C1_1 \to C1_3 \to C1_5$ | $C1_2 \to C2_6$ $C1_6 \to C2_4$ $C1_4 \to C2_2$ | $C2_1 \to C2_3 \to C2_5$ | $C2_1 \to C2_3 \to C2_5 \to A1_1 \to A1_3 \to A1_5$ |

Таблица 7-19

**Таблица соединений для 108 пазов, 16 полюсов и ППФ=$2^1/_4$**

($y=13$; $y_з=6$; $y_п=7$; $a=-2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу) (см. рабочую схему на рис. 7-19)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 3 | 5 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=51$ | ↓ | ↑ | $B1_1=19$ | $B1_2=69$ | ↓ | ↑ | $C1_1=10$ | $C1_2=60$ | ↓ |
| | 4 | ↓ | $A2_1=8$ | $A2_2=71$ | ↑ | ↓ | $B2_1=26$ | $B2_2=89$ | ↑ | ↓ | $C2_1=17$ | $C2_2=80$ | ↑ |
| | 5 | ↑ | $A1_3=23$ | $A1_4=78$ | ↓ | ↑ | $B1_3=46$ | $B1_4=96$ | ↓ | ↑ | $C1_3=37$ | $C1_4=87$ | ↓ |
| | 4 | ↓ | $A2_3=35$ | $A2_4=93$ | ↑ | ↓ | $B2_3=53$ | $B2_4=8$ | ↑ | ↓ | $C2_3=44$ | $C2_4=107$ | ↑ |
| | 5 | ↑ | $A1_5=55$ | $A1_6=105$ | ↓ | ↑ | $B1_5=73$ | $B1_6=15$ | ↓ | ↑ | $C1_5=64$ | $C1_6=6$ | ↓ |
| | 4 | ↓ | $A2_5=62$ | $A2_6=17$ | ↑ | ↓ | $B2_5=80$ | $B2_6=35$ | ↑ | ↓ | $C2_5=71$ | $C2_6=26$ | ↑ |
| | 5 | ↑ | $A1_7=82$ | $A1_8=24$ | ↓ | ↑ | $B1_7=100$ | $B1_8=42$ | ↓ | ↑ | $C1_7=91$ | $C1_8=33$ | ↓ |
| | 4 | ↓ | $A2_7=89$ | $A2_8=44$ | ↑ | ↓ | $B2_7=107$ | $B2_8=62$ | ↑ | ↓ | $C2_7=98$ | $C2_8=53$ | ↑ |

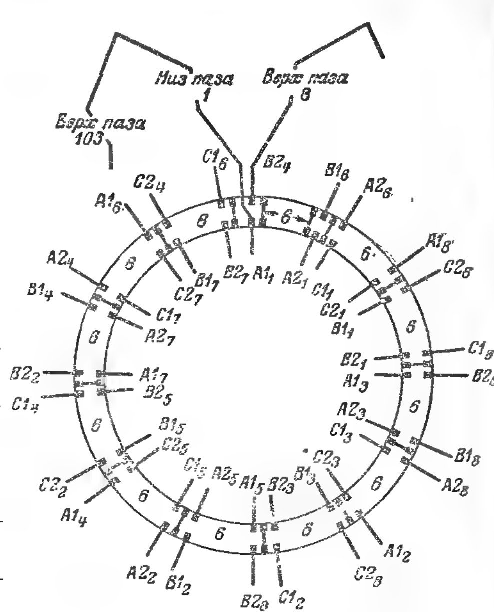



Рис. 7-19. Рабочая схема для 108 пазов, 16 полюсов, ППФ=$2^1/_4$.

*Продолжение табл. 7-19*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_7 \to A2_3$  $A2_7 \to A1_7$  $A1_8 \to A2_6$  $A2_5 \to A1_5$  $A1_6 \to A2_4$  $A2_3 \to A1_3$  $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1 \to C1_3$ |
| | $B1_5$ | $B1_2 \to B2_3$  $B2_7 \to B1_7$  $B1_8 \to B2_6$  $B2_1 \to B1_1$  $B1_6 \to B2_1$  $B2_3 \to B1_3$  $B1_4 \to B2_2$ | $B2_5$ | $B2_5 \to A1_1$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_3$  $C2_7 \to C1_7$  $C1_8 \to C2_6$  $C2_1 \to C1_1$  $C1_6 \to C2_1$  $C2_5 \to C1_5$  $C1_4 \to C2_2$ | $C2_3$ | $C2_3 \to B1_5$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_5$ | $A1_2 \to A2_3$  $A2_7 \to A1_7$  $A1_8 \to A2_6$  $A1_6 \to A2_4$  $A2_3 \to A1_3$  $A1_4 \to A2_2$ | $A2_5 \to A2_1$ | $A2_5 \to A2_1 \to B1_1 \to B1_5$ |
| | $B1_1 \to B1_5$ | $B1_2 \to B2_3$  $B2_7 \to B1_7$  $B1_8 \to B2_6$  $B1_6 \to B2_4$  $B2_3 \to B1_3$  $B1_4 \to B2_2$ | $B2_5 \to B2_1$ | $B2_5 \to B2_1 \to C1_3 \to C1_7$ |
| | $C1_3 \to C1_7$ | $C1_2 \to C2_3$  $C2_5 \to C1_5$  $C1_8 \to C2_6$  $C1_6 \to C2_4$  $C2_1 \to C1_1$  $C1_4 \to C2_2$ | $C2_7 \to C2_3$ | $C2_7 \to C2_3 \to A1_1 \to A1_5$ |
| 4 | $A1_1 \to A1_3 \to A1_5 \to A1_7$ | — | $A2_1 \to A2_3 \to A2_5 \to A2_7$ | $A2_1 \to A2_3 \to A2_5 \to A2_7 \to B1_1 \to B1_3 \to B1_5 \to B1_7$ |
| | $B1_1 \to B1_3 \to B1_5 \to B1_7$ | — | $B2_1 \to B2_3 \to B2_5 \to B2_7 \to$ | $B2_1 \to B2_3 \to B2_5 \to B2_7$ $C1_1 \to C1_3 \to C1_5 \to C1_7$ |
| | $C1_1 \to C1_3 \to C1_5 \to C1_7$ | — | $C2_1 \to C2_3 \to C2_5 \to C2_7$ | $C2_1 \to C2_3 \to C2_5 \to C2_7 \to A1_1 \to A1_3 \to A1_5 \to A1_7$ |

**Таблица соединений для 126 пазов, 8 полюсов и ППФ=$5^1/_4$**
($y=31$; $y_з=15$; $y_п=16$; $a=-2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-20)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Нижние выводы: полярность | Фаза А: Нижние выводы: начала | Фаза А: Верхние выводы: концы | Фаза А: Верхние выводы: полярность | Фаза В: Нижние выводы: полярность | Фаза В: Нижние выводы: начала | Фаза В: Верхние выводы: концы | Фаза В: Верхние выводы: полярность | Фаза С: Нижние выводы: полярность | Фаза С: Нижние выводы: начала | Фаза С: Верхние выводы: концы | Фаза С: Верхние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 11 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=54$ | ↓ | ↑ | $B1_1=43$ | $B1_2=96$ | ↓ | ↑ | $C1_1=22$ | $C1_2=75$ | ↓ |
| | 10 | ↓ | $A2_1=17$ | $A2_2=101$ | ↑ | ↓ | $B2_1=59$ | $B2_2=17$ | ↑ | ↓ | $C2_1=38$ | $C2_2=122$ | ↑ |
| | 11 | ↑ | $A1_3=64$ | $A1_4=117$ | ↓ | ↑ | $B1_3=106$ | $B1_4=33$ | ↓ | ↑ | $C1_3=85$ | $C1_4=12$ | ↓ |
| | 10 | ↓ | $A2_3=80$ | $A2_4=38$ | ↑ | ↓ | $B2_3=122$ | $B2_4=80$ | ↑ | ↓ | $C2_3=101$ | $C2_4=59$ | ↑ |

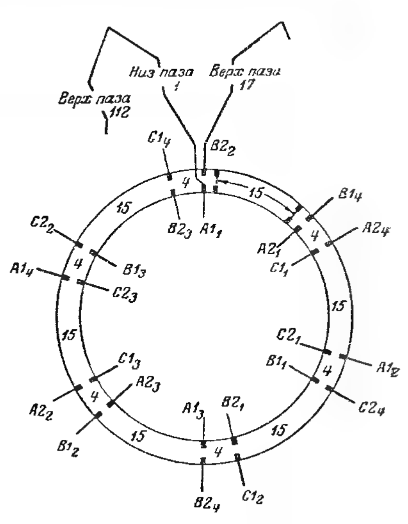



Рис. 7-20. Рабочая схема для 126 пазов, 8 полюсов, ППФ=$5^1/_4$

*Продолжение табл. 7-20*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_4 \to A2_2$ $A1_3 \to A2_3$ | $A2_1$ | $A2_1 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_4$ $B1_4 \to B2_2$ $B1_3 \to B2_3$ | $B2_1$ | $B2_1 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_4 \to C1_1 \to C2_1$ $C1_4 \to C2_2$ | $C2_3$ | $C2_3 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_3$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1 \to A2_3$ | $A2_1 \to A2_3 \to B1_1 \to B1_3$ |
| | $B1_1 \to B1_3$ | $B1_2 \to B2_4$ $B1_4 \to B2_2$ | $B2_1 \to B2_3$ | $B2_1 \to B2_3 \to C1_1 \to C1_3$ |
| | $C1_1 \to C1_3$ | $C1_2 \to C2_4$ $C1_4 \to C2_2$ | $C2_1 \to C2_3$ | $C2_1 \to C2_3 \to A1_1 \to A1_3$ |

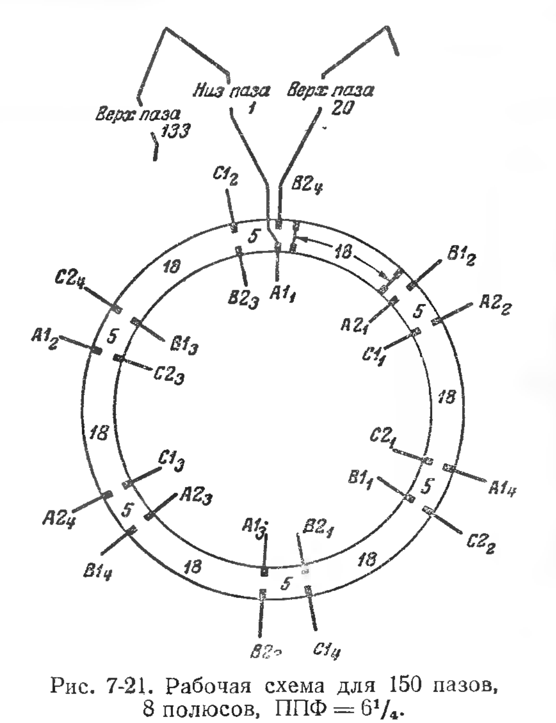



Рис. 7-21. Рабочая схема для 150 пазов, 8 полюсов, ППФ $= 6^1/_4$.

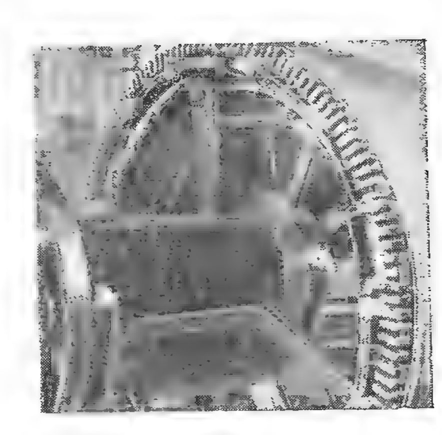


Рис. 7-21а. Вид на соединения концов обмотки по рабочей схеме на рис. 7-21. Обмотка соединена в треугольник соответственно таблице соединений 7-21.

Таблица 7-21

**Таблица соединений для 150 пазов, 8 полюсов и ППФ $=6^{1}/_{4}$**

($y=37$; $y_з=18$; $y_п=19$; $a=-2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-21)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 13 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=139$ | ↓ | ↑ | $B1_1=51$ | $B1_2=39$ | ↓ | ↑ | $C1_1=26$ | $C1_2=14$ | ↓ |
| | 12 | ↓ | $A2_1=20$ | $A2_2=45$ | ↑ | ↓ | $B2_1=70$ | $B2_2=95$ | ↑ | ↓ | $C2_1=45$ | $C2_2=70$ | ↑ |
| | 13 | ↑ | $A1_3=76$ | $A1_4=64$ | ↓ | ↑ | $B1_3=126$ | $B1_4=114$ | ↓ | ↑ | $C1_3=101$ | $C1_4=89$ | ↓ |
| | 12 | ↓ | $A2_3=95$ | $A2_4=120$ | ↑ | ↓ | $B2_3=145$ | $B2_4=20$ | ↑ | ↓ | $C2_3=120$ | $C2_4=145$ | ↑ |



*Продолжение табл. 7-21*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_3 \to A2_3$ $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_4$ $B1_3 \to B2_3$ $B1_4 \to B2_2$ | $B2_1$ | $B2_1 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_4$ $C1_1 \to C2_1$ $C1_4 \to C2_2$ | $C2_3$ | $C2_3 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_3$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1 \to A2_3$ | $A2_1 \to A2_3 \to B1_1 \to B1_3$ |
| | $B1_1 \to B1_3$ | $B1_2 \to B2_4$ $B1_4 \to B2_2$ | $B2_1 \to B2_3$ | $B2_1 \to B2_3 \to C1_1 \to C1_3$ |
| | $C1_1 \to C1_3$ | $C1_2 \to C2_4$ $C1_4 \to C2_2$ | $C2_1 \to C2_3$ | $C2_1 \to C2_3 \to A1_1 \to A1_3$ |

Таблица 7-22

**Таблица соединений для 90 пазов, 8 полюсов и ППФ=$3^3/_4$**

($y$=22; $y_з$=11; $y_п$=11; $a$= −2; $d$ равно четному числу;

$P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-22)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза A: Нижние выводы: начала | Фаза A: Верхние выводы: концы | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Нижние выводы: начала | Фаза B: Верхние выводы: концы | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Нижние выводы: начала | Фаза C: Верхние выводы: концы | Фаза C: Верхние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 8 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=16$ | ↓ | ↑ | $B1_1=31$ | $B2_1=46$ | ↓ | ↑ | $C1_1=16$ | $C1_2=31$ | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_1=35$ | $A2_2=72$ | ↑ | ↓ | $B2_1=20$ | $B2_2=57$ | ↑ | ↓ | $C2_1=5$ | $C2_2=42$ | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A1_3=46$ | $A1_4=61$ | ↓ | ↑ | $B1_3=76$ | $B1_4=1$ | ↓ | ↑ | $C1_3=61$ | $C1_4=76$ | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_3=80$ | $A2_4=27$ | ↑ | ↓ | $B2_3=65$ | $B2_4=12$ | ↑ | ↓ | $C2_3=50$ | $C2_4=87$ | ↑ |

Рис. 7-22. Рабочая схема для 90 пазов, 8 полюсов, ППФ=$3^3/_4$.

*Продолжение табл. 7-22*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_4 \to A2_2$ $A2_3 \to A1_3$ | $A2_1$ | $A2_1 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_4 \to B2_4$ $B2_1 \to B1_3$ | $B2_3$ | $B2_3 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_4 \to C2_4$ $C2_3 \to C1_1$ | $C2_1$ | $C2_1 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_3$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_4 \to A2_2$ | $A2_3 \to A2_1$ | $A2_3 \to A2_1 \to B1_1 \to B1_3$ |
| | $B1_1 \to B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_4 \to B2_4$ | $B2_1 \to B2_3$ | $B2_1 \to B2_3 \to C1_1 \to C1_3$ |
| | $C1_1 \to C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_4 \to C2_4$ | $C2_1 \to C2_3$ | $C2_1 \to C2_3 \to A1_1 \to A1_3$ |

Таблица 7-23

**Таблица соединений для 135 пазов, 12 полюсов и ППФ=$3^3/_4$**
($y$=22; $y_з$=11; $y_п$=11; $a$=—2; $d$ равно четному числу;
$P$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-23)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 6 | 8 | ↑ | $A1_1$=1 | $A1_2$=103 | ↓ | ↑ | $B1_1$=31 | $B1_2$=1 | ↓ | ↑ | $C1_1$=16 | $C1_2$=122 | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_1$=35 | $A2_2$=27 | ↑ | ↓ | $B2_1$=20 | $B2_2$=12 | ↑ | ↓ | $C2_1$=5 | $C2_2$=132 | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A1_3$—46 | $A1_4$=16 | ↓ | ↑ | $B1_3$=76 | $B1_4$=46 | ↓ | ↑ | $C1_3$=61 | $C1_4$—31 | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_3$=80 | $A2_4$=72 | ↑ | ↓ | $B2_3$=65 | $B2_4$=57 | ↑ | ↓ | $C2_3$=50 | $C2_4$=42 | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A1_5$=91 | $A1_6$=61 | ↓ | ↑ | $B1_5$=121 | $B1_6$=91 | ↓ | ↑ | $C1_5$=106 | $C1_6$=76 | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_5$=125 | $A2_6$=117 | ↑ | ↓ | $B2_5$=110 | $B2_6$=102 | ↑ | ↓ | $C2_5$=95 | $C2_6$=87 | ↑ |

Рис. 7-23. Рабочая схема для 135 пазов, 12 полюсов, ППФ=$3^3/_4$.

*Продолжение табл. 7-23*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2$→$A2_2$; $A2_5$→$A1_5$ $A1_6$→$A2_4$ $A2_3$→$A1_3$ $A1_4$→$A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1$→$B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2$→$B2_2$ $B2_1$→$B1_5$ $B1_6$→$B2_6$ $B2_5$→$B1_3$ $B1_4$→$B2_1$ | $B2_3$ | $B2_3$→$C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2$→$C2_2$ $C2_3$→$C1_1$ $C2_1$→$C1_5$ $C1_6$→$C2_3$ $C1_4$→$C2_1$ | $C2_5$ | $C2_5$→$A1_1$ |
| 3 | $A1_1$→$A1_3$→$A1_5$ | $A1_2$→$A2_3$ $A1_6$→$A2_4$ $A1_4$→$A2_2$ | $A2_1$→$A2_3$→$A2_5$ | $A2_1$→$A2_3$→$A2_5$→$B1_1$→$B1_3$→$B1_5$ |
| | $B1_1$→$B1_3$→$B1_5$ | $B1_2$→$B2_2$ $B1_6$→$B2_3$ $B1_4$→$B2_4$ | $B2_1$→$B2_3$→$B2_5$ | $B2_1$→$B2_3$→$B2_5$→$C1_1$→$C1_3$→$C1_5$ |
| | $C1_1$→$C1_3$→$C1_5$ | $C1_2$→$C2_2$ $C1_6$→$C2_3$ $C1_4$→$C2_4$ | $C2_1$→$C2_3$→$C2_5$ | $C2_1$→$C2_3$→$C2_5$→$A1_1$→$A1_3$→$A1_5$ |

Таблица 7-24

**Таблица соединений для 180 пазов, 16 полюсов и ППФ=$3^3/_4$**
($y=22$; $y_з=11$; $y_п=11$; $a=-2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-24)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза A: Нижние выводы: начала | Фаза A: Верхние выводы: концы | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Нижние выводы: начала | Фаза B: Верхние выводы: концы | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Нижние выводы: начала | Фаза C: Верхние выводы: концы | Фаза C: Верхние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 8 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=16$ | ↓ | ↑ | $B1_1=31$ | $B1_2=46$ | ↓ | ↑ | $C1_1=16$ | $C1_2=31$ | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_1=35$ | $A2_2=72$ | ↑ | ↓ | $B2_1=20$ | $B2_2=57$ | ↑ | ↓ | $C2_1=5$ | $C2_2=42$ | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A1_3=46$ | $A1_4=61$ | ↓ | ↑ | $B1_3=76$ | $B1_4=91$ | ↓ | ↑ | $C1_3=61$ | $C1_4=76$ | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_3=80$ | $A2_4=117$ | ↑ | ↓ | $B2_3=65$ | $B2_4=102$ | ↑ | ↓ | $C2_3=50$ | $C2_4=87$ | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A1_5=91$ | $A1_6=106$ | ↓ | ↑ | $B1_5=121$ | $B1_6=136$ | ↓ | ↑ | $C1_5=106$ | $C1_6=121$ | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_5=125$ | $A2_3=162$ | ↑ | ↓ | $B2_5=110$ | $B2_3=147$ | ↑ | ↓ | $C2_5=95$ | $C2_3=132$ | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A1_7=136$ | $A1_8=151$ | ↓ | ↑ | $B1_7=166$ | $B1_8=1$ | ↓ | ↑ | $C1_7=151$ | $C1_8=166$ | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_7=170$ | $A2_3=27$ | ↑ | ↓ | $B2_7=155$ | $B2_8=12$ | ↑ | ↓ | $C2_7=140$ | $C2_3=177$ | ↑ |

Рис. 7-24. Рабочая схема для 180 пазов, 16 полюсов, ППФ=$3^3/_4$.

*Продолжение табл. 7-24*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2\to A2_8$ $A2_7\to A1_7$ $A1_8\to A2_3$ $A2_5\to A1_5$ $A1_6\to A2_4$ $A2_3\to A1_3$ $A1_4\to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1\to C1_3$ |
| | $B1_5$ | $B1_2\to B2_2$ $B2_1\to B1_7$ $B1_8\to B2_8$ $B2_5\to B1_3$ $B1_6\to B2_3$ $B2_3\to B1_1$ $B1_4\to B2_4$ | $B2_7$ | $B2_7\to A1_1$ |
| | $C1_3$ | $C1_2\to C2_2$ $C2_1\to C1_7$ $C1_8\to C2_3$ $C2_7\to C1_5$ $C1_6\to C2_3$ $C2_3\to C1_1$ $C1_4\to C2_4$ | $C2_5$ | $C2_5\to B1_5$ |
| 2 | $A1_1\to A1_5$ | $A1_2\to A2_3$ $A2_7\to A1_7$ $A1_8\to A2_3$ $A1_3\to A2_4$ $A2_3\to A1_3$ $A1_4\to A2_2$ | $A2_1\to A2_5$ | $A2_1\to A2_5\to B1_1\to B1_5$ |
| | $B1_1\to B1_5$ | $B1_2\to B2_2$ $B2_1\to B1_7$ $B1_8\to B2_8$ $B1_6\to B2_3$ $B2_5\to B1_3$ $B1_4\to B2_4$ | $B2_7\to B2_3$ | $B2_7\to B2_3\to C1_3\to C1_7$ |
| | $C1_3\to C1_7$ | $C1_4\to C2_4$ $C2_3\to C1_1$ $C1_2\to C2_2$ $C1_8\to C2_8$ $C2_7\to C1_5$ $C1_3\to C2_3$ | $C2_1\to C2_5$ | $C2_1\to C2_5\to A1_1\to A1_5$ |
| 4 | $A1_1\to A1_3\to A1_5\to A1_7$ | $A1_2\to A2_3$ $A1_4\to A2_2$ $A1_3\to A2_1$ $A1_8\to A2_3$ | $A2_1\to A2_3$ $A2_5\to A2_7$ | $A2_1\to A2_3\to A2_5\to A2_7\to B1_1\to B1_3\to B1_5\to B1_7$ |
| | $B1_1\to B1_3\to B1_5\to B1_7$ | $B1_2\to B2_2$ $B1_4\to B2_4$ $B1_6\to B2_6$ $B1_8\to B2_3$ | $B2_1\to B2_3$ $B2_5\to B2_7$ | $B2_1\to B2_3\to B2_5\to B2_7\to C1_1\to C1_3\to C1_5\to C1_7$ |
| | $C1_1\to C1_3\to C1_5\to C1_7$ | $C1_2\to C2_2$ $C1_4\to C2_4$ $C1_6\to C2_3$ $C1_8\to C2_8$ | $C2_1\to C2_3$ $C2_5\to C2_7$ | $C2$ - $C2_3\to C2_5\to C2_7\to A1_1\to A1_3\to A1_5\to A1_7$ |

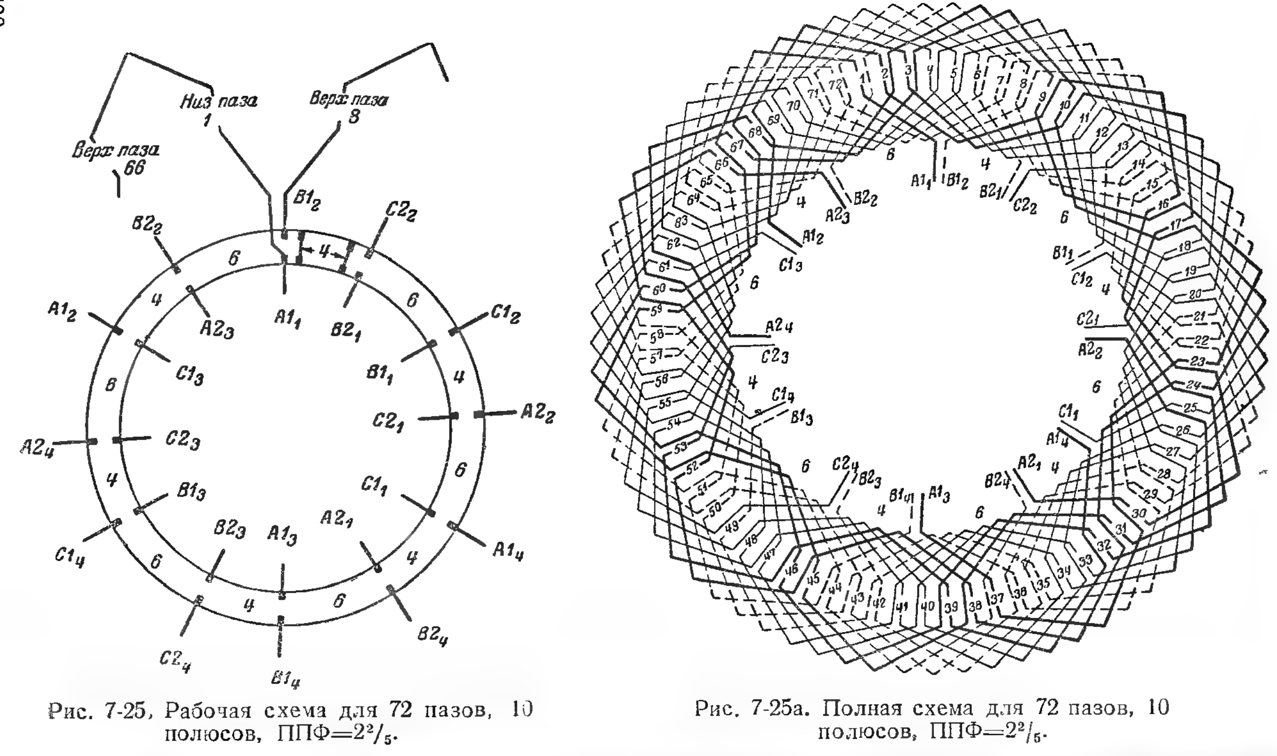



Рис. 7-25. Рабочая схема для 72 пазов, 10 полюсов, ППФ=$2^2/_5$.

Рис. 7-25а. Полная схема для 72 пазов, 10 полюсов, ППФ=$2^2/_5$.



**Таблица соединений для 72 пазов, 10 полюсов и ППФ=$2^2/_5$**

($y$=14; $y_з$=7; $y_п$=7; $a$= —2; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно четному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-25)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 6 | ↑ | $A1_1$=1 | $A1_2$=63 | ↓ | ↑ | $B1_1$=13 | $B1_2$=8 | ↓ | ↑ | $C1_1$=25 | $C1_2$=20 | ↓ |
| | 6 | ↑ | $A2_1$=30 | $A2_2$=25 | ↓ | ↓ | $B2_1$=6 | $B2_2$=1 | ↑ | ↓ | $C2_1$=18 | $C2_2$=13 | ↑ |
| | 6 | ↓ | $A1_3$=37 | $A1_4$=32 | ↑ | ↓ | $B1_3$=49 | $B1_4$=44 | ↑ | ↓ | $C1_3$=61 | $C1_4$=56 | ↑ |
| | 6 | ↓ | $A2_3$=66 | $A2_4$=61 | ↑ | ↑ | $B2_3$=42 | $B2_4$=37 | ↓ | ↑ | $C2_3$=54 | $C2_4$=49 | ↓ |

*Продолжение табл. 7-25*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$ $A2_1 \to A2_3$ $A1_4 \to A2_2$ | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_3$ |
| | $B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$ $B2_1 \to B2_3$ $B2_4 \to B1_4$ | $B1_1$ | $B1_1 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C2_3$ $C1_4 \to C2_4$ | C1 | $C1_3 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_4$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_3 \to A2_1$ | $A2_2 \to A2_3$ | $A2_2 \to A2_3 \to B1_3 \to B1_2$ |
| | $B1_3 \to B1_2$ | $B1_1 \to B2_1$ $B1_4 \to B2_4$ | $B2_3 \to B2_2$ | $B2_3 \to B2_2 \to C1_1 \to C1_4$ |
| | $C1_1 \to C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_3 \to C2_3$ | $C2_4 \to C2_1$ | $C2_4 \to C2_1 \to A1_1 \to A1_4$ |

Таблица 7-26

**Таблица соединений для 144 пазов, 20 полюсов и ППФ $= 2^2/_5$**

($y = 14$; $y_з = 7$; $y_n = 7$; $a = -2$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно четному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-26)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза A: Нижние выводы: начала | Фаза A: Верхние выводы: концы | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Нижние выводы: начала | Фаза B: Верхние выводы: концы | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Нижние выводы: начала | Фаза C: Верхние выводы: концы | Фаза C: Верхние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 6 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=68$ | ↓ | ↑ | $B1_1=13$ | $B1_2=80$ | ↓ | ↑ | $C1_1=25$ | $C1_2=92$ | ↓ |
| | 6 | ↑ | $A2_1=30$ | $A2_2=97$ | ↓ | ↓ | $B2_1=6$ | $B2_2=73$ | ↑ | ↓ | $C2_1=18$ | $C2_2=85$ | ↑ |
| | 6 | ↓ | $A1_3=37$ | $A1_4=104$ | ↑ | ↓ | $B1_3=49$ | $B1_4=116$ | ↑ | ↓ | $C1_3=61$ | $C1_4=128$ | ↑ |
| | 6 | ↓ | $A2_3=66$ | $A2_4=133$ | ↑ | ↑ | $B2_3=42$ | $B2_4=109$ | ↓ | ↑ | $C2_3=54$ | $C2_4=121$ | ↓ |
| | 6 | ↑ | $A1_5=73$ | $A1_6=140$ | ↓ | ↑ | $B1_5=85$ | $B1_6=8$ | ↓ | ↑ | $C1_5=97$ | $C1_6=20$ | ↓ |
| | 6 | ↑ | $A2_5=102$ | $A2_6=25$ | ↓ | ↓ | $B2_5=78$ | $B2_6=1$ | ↑ | ↓ | $C2_5=90$ | $C2_6=13$ | ↑ |
| | 6 | ↓ | $A1_7=109$ | $A1_8=32$ | ↑ | ↓ | $B1_7=121$ | $B1_8=44$ | ↑ | ↓ | $C1_7=133$ | $C1_8=56$ | ↑ |
| | 6 | ↓ | $A2_7=138$ | $A2_8=61$ | ↑ | ↑ | $B2_7=114$ | $B2_8=37$ | ↓ | ↑ | $C2_7=126$ | $C2_8=49$ | ↓ |

Рис. 7-26. Рабочая схема для 144 пазов, 20 полюсов, ППФ$=2^2/_5$.

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_3$ $A2_7 \to A2_5$ $A2_6 \to A1_8$ $A1_7 \to A1_5$ $A1_6 \to A2_4$ $A2_3 \to A2_1$ $A2_2 \to A1_4$ | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_3$ |
| | $B1_3$ | $B1_4 \to B2_4$ $B2_3 \to B2_1$ $B2_2 \to B1_2$ $B1_1 \to B1_7$ $B1_8 \to B2_8$ $B2_7 \to B2_5$ $B2_3 \to B1_6$ | $B1_5$ | $B1_5 \to C1_5$ |
| | $C1_5$ | $C1_6 \to C2_6$ $C2_5 \to C2_3$ $C2_4 \to C1_1$ $C1_3 \to C1_1$ $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C2_7$ $C2_8 \to C1_8$ | $C1_7$ | $C1_7 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_5$ | $A1_2 \to A2_8$ $A2_7 \to A2_5$ $A2_6 \to A1_8$ $A1_6 \to A2_4$ $A2_3 \to A2_1$ $A2_2 \to A1_4$ | $A1_3 \to A1_7$ | $A1_3 \to A1_7 \to B1_3 \to B1_7$ |
| | $B1_3 \to B1_7$ | $B1_4 \to B2_4$ $B2_3 \to B2_1$ $B2_2 \to B1_2$ $B1_8 \to B2_8$ $B2_7 \to B2_5$ $B2_6 \to B1_8$ | $B1_1 \to B1_5$ | $B1_1 \to B1_5 \to C1_1 \to C1_5$ |
| | $C1_3 \to C1_5$ | $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C2_7$ $C2_8 \to C1_8$ $C1_6 \to C2_6$ $C2_5 \to C2_3$ $C2_4 \to C1_4$ | $C1_3 \to C1_7$ | $C1_3 \to C1_7 \to A1_1 \to A1_5$ |
| 4 | $A1_1 \to A1_4 \to A1_5 \to A1_8$ | $A1_2 \to A2_8$ $A1_3 \to A2_1$ $A1_6 \to A2_4$ $A1_7 \to A2_5$ | $A2_2 \to A2_3 \to A2_6 \to A2_7$ | $A2_2 \to A2_3 \to A2_6 \to A2_7 \to B1_2 \to B1_3 \to B1_6 \to B1_7$ |
| | $B1_2 \to B1_3 \to B1_6 \to B1_7$ | $B1_4 \to B2_4$ $B1_1 \to B2_1$ $B1_5 \to B2_5$ $B1_8 \to B2_8$ | $B2_2 \to B2_3 \to B2_6 \to B2_7$ | $B2_2 \to B2_3 \to B2_6 \to B2_7 \to C1_1 \to C1_4 \to C1_5 \to C1_8$ |
| | $C1_1 \to C1_4 \to C1_5 \to C1_8$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_3 \to C2_3$ $C1_6 \to C2_6$ $C1_7 \to C2_7$ | $C2_1 \to C2_4 \to C2_5 \to C2_8$ | $C2_1 \to C2_4 \to C2_5 \to C2_8$ $A1_1 \to A1_4 \to A1_5 \to A1_8$ |

Таблица 7-27

**Таблица соединений для 192 пазов, 10 полюсов и ППФ $= 6^2/_5$**

($y = 38$; $y_з = 19$; $y_п = 19$; $a = -2$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно четному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-26)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 16 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=180$ | ↓ | ↑ | $B1_1=33$ | $B1_2=20$ | ↓ | ↑ | $C1_1=65$ | $C1_2=52$ | ↓ |
| | 16 | ↑ | $A2_1=78$ | $A2_2=65$ | ↓ | ↓ | $B2_1=14$ | $B2_2=1$ | ↑ | ↓ | $C2_1=46$ | $C2_2=46$ | ↑ |
| | 16 | ↓ | $A1_3=97$ | $A1_4=84$ | ↑ | ↓ | $B1_3=129$ | $B1_4=116$ | ↑ | ↓ | $C1_3=161$ | $C1_4=148$ | ↑ |
| | 16 | ↓ | $A2_3=174$ | $A2_4=161$ | ↑ | ↑ | $B2_3=110$ | $B2_4=97$ | ↓ | ↑ | $C2_3=142$ | $C2_4=129$ | ↓ |

Рис. 7-27. Рабочая схема для 192 пазов, 10 полюсов, ППФ$=6^2/_5$.

*Продолжение табл. 7-27*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$  $A2_1 \to A2_3$<br>$A1_4 \to A2_2$ | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_3$ |
| | $B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$  $B2_1 \to B2_3$<br>$B1_4 \to B2_4$ | $B1_1$ | $B1_1 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$  $C2_1 \to C2_3$<br>$C1_4 \to C2_4$ | $C1_3$ | $C1_3 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_4$ | $A1_2 \to A2_4$  $A1_3 \to A2_1$ | $A2_2 \to A2_3$ | $A2_2 \to A2_3 \to B1_2 \to B1_3$ |
| | $B1_2 \to B1_3$ | $B1_4 \to B2_4$  $B1_1 \to B2_1$ | $B2_2 \to B2_3$ | $B2_2 \to B2_3 \to C1_1 \to C1_4$ |
| | $C1_1 \to C1_4$ | $C1_2 \to C2_2$  $C1_3 \to C2_3$ | $C2_1 \to C2_4$ | $C2_1 \to C2_4 \to A1_1 \to A1_4$ |

Таблица 7-28

**Таблица соединений для 168 пазов, 10 полюсов и ППФ = $5^3/_5$**

($y = 34$; $y_з = 17$; $y_п = 17$; $a = +2$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-28)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза A: Верхние выводы: начала | Фаза A: Нижние выводы: концы | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: начала | Фаза B: Нижние выводы: концы | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: начала | Фаза C: Нижние выводы: концы | Фаза C: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 14 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=124$ | ↓ | ↑ | $B1_1=29$ | $B1_2=152$ | ↓ | ↑ | $C1_1=57$ | $C1_2=12$ | ↓ |
| | 14 | ↓ | $A2_1=18$ | $A2_2=141$ | ↑ | ↓ | $B2_1=46$ | $B2_2=1$ | ↑ | ↓ | $C2_1=74$ | $C2_2=29$ | ↑ |
| | 14 | ↓ | $A1_3=85$ | $A1_4=40$ | ↑ | ↓ | $B1_3=113$ | $B1_4=68$ | ↑ | ↓ | $C1_3=141$ | $C1_4=96$ | ↑ |
| | 14 | ↑ | $A2_3=102$ | $A2_4=57$ | ↓ | ↑ | $B2_3=130$ | $B2_4=85$ | ↓ | ↑ | $C2_3=158$ | $C2_4=113$ | ↓ |

Рис. 7-28. Рабочая схема для 168 пазов, 10 полюсов, ППФ=$5^3/_5$.

*Продолжение табл. 7-28*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$ $A2_1 \to A2_3$ $A1_4 \to A2_4$ | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_3$ |
| | $B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$ $B2_1 \to B2_3$ $B1_4 \to B2_4$ | $B1_1$ | $B1_1 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C2_3$ $C1_4 \to C2_4$ | $C1_3$ | $C1_3 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_4$ | $A1_2 \to A2_2$ $A1_3 \to A2_3$ | $A2_1 \to A2_4$ | $A2_1 \to A2_4 \to B1_2 \to B1_3$ |
| | $B1_2 \to B1_3$ | $B1_1 \to B2_1$ $B1_4 \to B2_1$ | $B2_2 \to B2_3$ | $B2_2 \to B2_3 \to C1_1 \to C1_4$ |
| | $C1_1 \to C1_4$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_3 \to C2_3$ | $C2_1 \to C2_4$ | $C2_1 \to C2_4 \to A1_1 \to A1_4$ |

Рис. 7-29. Рабочая схема для 336 пазов, 20 полюсов, ППФ=$5^3/_5$.

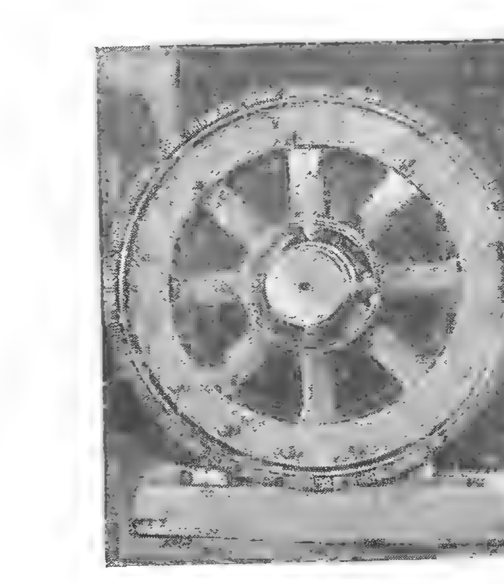


Рис. 7-29а. Вид на соединения концов обмотки по рабочей схеме на рис. 7-29. Начала и концы частей обмотки показаны до соединения в единичный треугольник.

**Таблица соединений для 336 пазов, 20 полюсов и ППФ = $5^3/_5$**

($y = 34$; $y_з = 17$; $y_п = 17$; $a = +2$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-29)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 8 | 14 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=124$ | ↓ | ↑ | $B1_1=29$ | $B1_2=152$ | ↓ | ↑ | $C1_1=57$ | $C1_2=180$ | ↓ |
| | 14 | ↓ | $A2_1=18$ | $A2_2=141$ | ↑ | ↓ | $B2_1=46$ | $B2_2=169$ | ↑ | ↓ | $C2_1=74$ | $C2_2=197$ | ↑ |
| | 14 | ↓ | $A1_3=85$ | $A1_4=208$ | ↑ | ↓ | $B1_3=113$ | $B1_4=236$ | ↑ | ↓ | $C1_3=141$ | $C1_4=264$ | ↑ |
| | 14 | ↑ | $A2_3=102$ | $A2_4=225$ | ↓ | ↑ | $B2_3=130$ | $B2_4=253$ | ↓ | ↑ | $C2_3=158$ | $C2_4=281$ | ↓ |
| | 14 | ↑ | $A1_5=169$ | $A1_6=292$ | ↓ | ↑ | $B1_5=197$ | $B1_6=320$ | ↓ | ↑ | $C1_5=225$ | $C1_6=12$ | ↓ |
| | 14 | ↓ | $A2_5=186$ | $A2_6=309$ | ↑ | ↓ | $B2_5=214$ | $B2_6=1$ | ↑ | ↓ | $C2_5=242$ | $C2_6=29$ | ↑ |
| | 14 | ↓ | $A1_7=253$ | $A1_8=40$ | ↑ | ↓ | $B1_7=281$ | $B1_8=68$ | ↑ | ↓ | $C1_7=309$ | $C1_8=96$ | ↑ |
| | 14 | ↑ | $A2_7=270$ | $A2_8=57$ | ↓ | ↑ | $B2_7=298$ | $B2_8=85$ | ↓ | ↑ | $C2_7=326$ | $C2_8=113$ | ↓ |

*Продолжение табл. 7-29*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ $A2_1 \to A2_3$ $A2_4 \to A1_4$ $A1_3 \to A1_5$ $A1_6 \to A2_6$ $A2_5 \to A2_7$ $A2_8 \to A1_8$ | $A1_7$ | $A1_7 \to B1_3$ |
| | $B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$ $B2_1 \to B2_7$ $B2_4 \to B1_4$ $B1_7 \to B1_5$ $B1_6 \to B2_6$ $B2_5 \to B2_3$ $B2_8 \to B1_8$ | $B1_1$ | $B1_1 \to C1_5$ |
| | $C1_5$ | $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C2_3$ $C2_4 \to C1_4$ $C1_7 \to C1_1$ $C1_6 \to C2_6$ $C2_5 \to C2_7$ $C2_8 \to C1_8$ | $C1_3$ | $C1_3 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_5$ | $A1_2 \to A2_2$ $A2_1 \to A2_3$ $A2_4 \to A1_4$ $A1_6 \to A2_6$ $A2_5 \to A2_7$ $A2_8 \to A1_8$ | $A1_3 \to A1_7$ | $A1_3 \to A1_7 \to B1_3 \to B1_7$ |
| | $B1_3 \to B1_7$ | $B1_2 \to B2_2$ $B2_1 \to B2_7$ $B2_4 \to B1_4$ $B1_6 \to B2_6$ $B2_5 \to B2_3$ $B2_8 \to B1_8$ | $B1_1 \to B1_5$ | $B1_1 \to B1_5 \to C1_1 \to C1_5$ |
| | $C1_1 \to C1_5$ | $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C2_3$ $C2_4 \to C1_4$ $C1_6 \to C2_6$ $C2_5 \to C2_7$ $C2_8 \to C1_8$ | $C1_3 \to C1_7$ | $C1_3 \to C1_7 \to A1_1 \to A1_5$ |
| 4 | $A1_1 \to A1_4 \to A1_5 \to A1_8$ | $A1_2 \to A2_2$ $A1_3 \to A2_3$ $A1_6 \to A2_6$ $A1_7 \to A2_7$ | $A2_1 \to A2_4 \to A2_5 \to A2_8$ | $A2_1 \to A2_4 \to A2_5 \to A2_8 \to B1_2 \to B1_3 \to B1_6 \to B1_7$ |
| | $B1_2 \to B1_3 \to B1_6 \to B1_7$ | $B1_1 \to B2_1$ $B1_4 \to B2_4$ $B1_5 \to B2_5$ $B1_8 \to B2_8$ | $B2_2 \to B2_3 \to B2_6 \to B2_7$ | $B2_2 \to B2_3 \to B2_6 \to B2_7 \to C1_1 \to C1_4 \to C1_5 \to C1_8$ |
| | $C1_1 \to C1_4 \to C1_5 \to C1_8$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_3 \to C2_3$ $C1_6 \to C2_6$ $C1_7 \to C2_7$ | $C2_1 \to C2_4 \to C2_5 \to C2_8$ | $C2_1 \to C2_4 \to C2_5 \to C2_8 \to A1_1 \to A1_4 \to A1_5 \to A1_8$ |

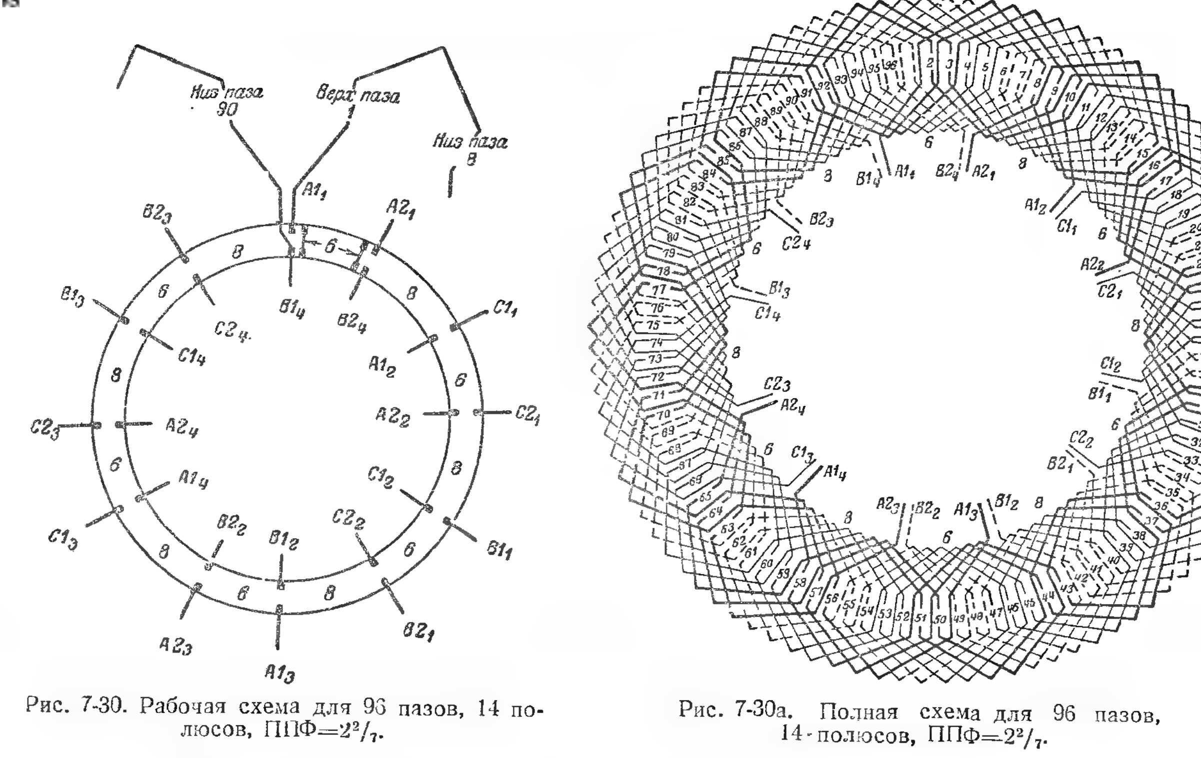



Рис. 7-30. Рабочая схема для 96 пазов, 14 полюсов, ППФ=$2^2/_7$.

Рис. 7-30а. Полная схема для 96 пазов, 14-полюсов, ППФ=$2^2/_7$.

Таблица 7-30

**Таблица соединений для 96 пазов, 14 полюсов и ППФ = $2^2/_7$**

($y = 14$; $y_з = 7$; $y_п = 7$; $a = +2$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-30)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А | | | | Фаза В | | | | Фаза С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 1 | 8 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=10$ | ↓ | ↑ | $B1_1=33$ | $B1_2=42$ | ↓ | ↑ | $C1_1=17$ | $C1_2=26$ | ↓ |
| | 8 | ↓ | $A2_1=8$ | $A2_2=17$ | ↑ | ↓ | $B2_1=40$ | $B2_2=49$ | ↑ | ↓ | $C2_1=24$ | $C2_2=33$ | ↑ |
| | 8 | ↓ | $A1_3=49$ | $A1_4=58$ | ↑ | ↓ | $B1_3=81$ | $B1_4=90$ | ↑ | ↓ | $C1_3=65$ | $C1_4=74$ | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A2_3=56$ | $A2_4=65$ | ↓ | ↑ | $B2_3=88$ | $B2_4=1$ | ↓ | ↑ | $C2_3=72$ | $C2_4=81$ | ↓ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ $A1_4 \to A2_4$ $A2_1 \to A2_3$ | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_4 \to B2_4$ $B2_1 \to B2_3$ | $B1_3$ | $B1_3 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_4 \to C2_4$ $C2_1 \to C2_3$ | $C1_1$ | $C1_1 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_4$ | $A1_2 \to A2_2$ $A1_3 \to A2_3$ | $A2_1 \to A2_4$ | $A2_1 \to A2_4 \to B1_1 \to B1_4$ |
| | $B1_1 \to B1_4$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_3 \to B2_3$ | $B2_1 \to B2_4$ | $B2_1 \to B2_4 \to C1_2 \to C1_3$ |
| | $C1_2 \to C1_3$ | $C1_1 \to C2_1$ $C1_4 \to C2_4$ | $C2_3 \to C2_2$ | $C2_3 \to C2_2 \to A1_1 \to A1_4$ |

Таблица 7-31

**Таблица соединений для 192 пазов, 28 полюсов и ППФ=$2^2/_7$**

($y=14$; $y_з=7$; $y_п=7$; $a=+2$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-31)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А | | | | Фаза В | | | | Фаза С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 8 | 8 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=106$ | ↓ | ↑ | $B1_1=33$ | $B1_2=138$ | ↓ | ↑ | $C1_1=17$ | $C1_2=122$ | ↓ |
| | 8 | ↓ | $A2_1=8$ | $A2_2=113$ | ↑ | ↓ | $B2_1=40$ | $B2_2=145$ | ↑ | ↓ | $C2_1=24$ | $C2_2=129$ | ↑ |
| | 8 | ↓ | $A1_3=49$ | $A1_4=154$ | ↑ | ↓ | $B1_3=81$ | $B1_4=186$ | ↑ | ↓ | $C1_3=65$ | $C1_4=170$ | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A2_3=56$ | $A2_4=161$ | ↓ | ↑ | $B2_3=88$ | $B2_4=1$ | ↓ | ↑ | $C2_3=72$ | $C2_4=177$ | ↓ |
| | 8 | ↑ | $A1_5=97$ | $A1_6=10$ | ↓ | ↑ | $B1_5=129$ | $B1_6=42$ | ↓ | ↑ | $C1_5=113$ | $C1_6=26$ | ↓ |
| | 8 | ↓ | $A2_5=104$ | $A2_6=17$ | ↑ | ↓ | $B2_5=136$ | $B2_6=49$ | ↑ | ↓ | $C2_5=120$ | $C2_6=33$ | ↑ |
| | 8 | ↓ | $A1_7=145$ | $A1_8=58$ | ↑ | ↓ | $B1_7=177$ | $B1_8=90$ | ↑ | ↓ | $C1_7=161$ | $C1_8=74$ | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A2_7=152$ | $A2_8=65$ | ↓ | ↑ | $B2_7=184$ | $B2_8=97$ | ↓ | ↑ | $C2_7=168$ | $C2_8=81$ | ↓ |

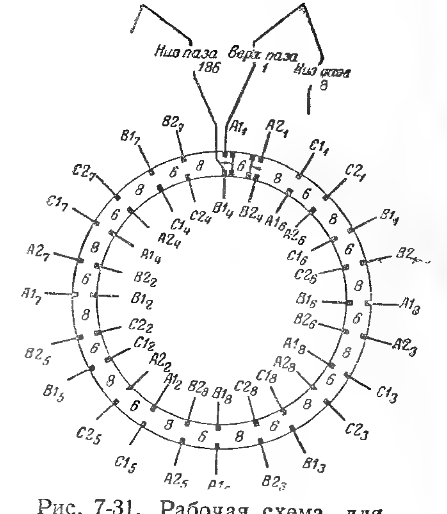



Рис. 7-31. Рабочая схема для 192 пазов, 28 полюсов, ППФ=$2^2/_7$.

*Продолжение табл. 7-31*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2→A2_2$ $A2_1→A2_3$ $A2_4→A1_4$ $A1_3→A1_5$ $A1_6→A2_8$ $A2_5→A2_7$ $A2_8→A1_8$ | $A1_7$ | $A1_7→B1_5$ |
| | $B1_5$ | $B1_2→B2_2$ $B2_1→B2_3$ $B2_4→B1_4$ $B1_1→B1_7$ $B1_6→B2_6$ $B2_5→B2_7$ $B2_8→B1_8$ | $B1_3$ | $B1_3→C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2→C2_2$ $C2_1→C2_7$ $C2_4→C1_4$ $C1_5→C1_7$ $C1_6→C2_6$ $C2_5→C2_3$ $C2_8→C1_8$ | $C1_1$ | $C1_1→A1_1$ |
| 2 | $A1_1→A1_5$ | $A1_2→A2_2$ $A2_1→A2_3$ $A2_4→A1_4$ $A1_6→A2_6$ $A2_5→A2_7$ $A2_8→A1_8$ | $A1_3→A1_7$ | $A1_3→A1_7→B1_1→B1_5$ |
| | $B1_1→B1_5$ | $B1_2→B2_2$ $B2_1→B2_3$ $B2_4→B1_4$ $B1_6→B2_6$ $B2_5→B2_7$ $B2_8→B1_8$ | $B1_3→B1_7$ | $B1_3→B1_7→C1_3→C1_7$ |
| | $C1_3→C1_7$ | $C1_2→C2_2$ $C2_1→C2_7$ $C2_1→C1_4$ $C1_6→C2_6$ $C2_5→C2_3$ $C2_8→C1_8$ | $C1_1→C1_5$ | $C1_1→C1_5→A1_1→A1_5$ |
| 4 | $A1_1→A1_4→A1_5→A1_8$ | $A1_2→A2_2$ $A1_3→A2_3$ $A1_6→A2_6$ $A1_7→A2_7$ | $A2_1→A2_4→A2_5→A2_8$ | $A2_1→A2_4→A2_5→A2_8→B1_1→B1_4→B1_5→B1_8$ |
| | $B1_1→B1_4→B1_5→B1_8$ | $B1_2→B2_2$ $B1_3→B2_3$ $B1_6→B2_6$ $B1_7→B2_7$ | $B2_1→B2_4→B2_5→B2_8$ | $B2_1→B2_4→B2_5→B2_8→C1_2→C1_3→C1_6→C1_7$ |
| | $C1_1→C1_3→C1_6→C1_7$ | $C1_1→C2_1$ $C1_4→C2_4$ $C1_5→C2_5$ $C1_8→C2_8$ | $C2_2→C2_3→C2_6→C2_7$ | $C2_2→C2_3→C2_6→C2_7→A1_1→A1_4→A1_5→A1_8$ |

Таблица 7-32

**Таблица соединений для 180 пазов, 14 полюсов и ППФ=$4\,^2/_7$**

($y = 26$; $y_з = 13$; $y_п = 13$; $a = +2$; $d$ равно нечетному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-32)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза A: Верхние выводы: начала | Фаза A: Нижние выводы: концы | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: начала | Фаза B: Нижние выводы: концы | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: начала | Фаза C: Нижние выводы: концы | Фаза C: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 15 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=18$ | ↓ | ↑ | $B1_1=61$ | $B1_2=78$ | ↓ | ↑ | $C1_1=31$ | $C1_2=48$ | ↓ |
| | 15 | ↓ | $A2_1=14$ | $A2_2=31$ | ↑ | ↓ | $B2_1=74$ | $B2_2=91$ | ↑ | ↓ | $C2_1=44$ | $C2_2=61$ | ↑ |
| | 15 | ↓ | $A1_3=91$ | $A1_4-108$ | ↑ | ↓ | $B1_3=151$ | $B1_4-168$ | ↑ | ↓ | $C1_3=121$ | $C1_4=138$ | ↑ |
| | 15 | ↑ | $A2_3=104$ | $A2_4=121$ | ↓ | ↑ | $B2_3=164$ | $B2_1=1$ | ↓ | ↑ | $C2_3=134$ | $C2_4=151$ | ↓ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ $A2_1 \to A2_3$ $A1 \to A2_4$ | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ $B2_1 \to B2_3$ $B1_4 \to B2_4$ | $B1_3$ | $B1_3 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C2_3$ $C1_4 \to C2_4$ | $C1_1$ | $C1_1 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_4$ | $A1_2 \to A2_2$ $A1_3 \to A2_3$ | $A2_1 \to A2_4$ | $A2_1 \to A2_4 \to B1_1 \to B1_4$ |
| | $B1_1 \to B1_4$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_3 \to B2_3$ | $B2 \to B2_4$ | $B2_1 \to B2_4 \to C1_2 \to C1_3$ |
| | $C1_2 \to C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_4 \to C2_4$ | $C2_2 \to C2_3$ | $C2_2 \to C2_3 \to A1_1 \to A1_4$ |

Рис. 7-32. Рабочая схема для 180 пазов, 14 полюсов, ППФ=$4^2/_7$.

Таблица 7-33

**Таблица соединений для 57 пазов, 8 полюсов и ППФ=$2\,^3/_8$**

($y = 14$; $y_з = 7$; $y_п = 7$; $a = -2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-33)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза A: Нижние выводы: начала | Фаза A: Верхние выводы: концы | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Нижние выводы: начала | Фаза B: Верхние выводы: концы | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Нижние выводы: начала | Фаза C: Верхние выводы: концы | Фаза C: Верхние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 10 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=39$ | ↓ | ↑ | $B1_1=20$ | $B1_2=1$ | ↓ | ↑ | $C1_1=39$ | $C1_2=20$ | ↓ |
| | 9 | ↓ | $A2_1=51$ | $A2_2=46$ | ↑ | ↓ | $B2_1=13$ | $B2_2=8$ | ↑ | ↓ | $C2_1=32$ | $C2_2=27$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1 \to C1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ | $B2_1$ | $B2_1 \to A1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ | $C2_1$ | $C2_1 \to B1_1$ |

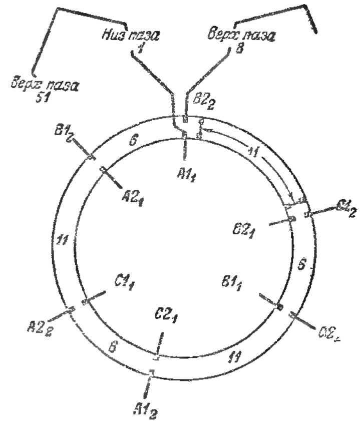



Рис. 7-33. Рабочая схема для 57 пазов, 8 полюсов, ППФ=$2^3/_8$.

Таблица 7-34

**Таблица соединений для 114 пазов, 16 полюсов и ППФ=2 3/8**

($y = 14$; $y_з = 7$; $y_п = 7$; $a = -2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу) (см. рабочую схему на рис. 7-34)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A |  |  |  | Фаза B |  |  |  | Фаза C |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  |  | Нижние выводы |  | Верхние выводы |  | Нижние выводы |  | Верхние выводы |  | Нижние выводы |  | Верхние выводы |  |
|  |  | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 10 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=96$ | ↓ | ↑ | $B1_1=20$ | $B1_2=1$ | ↓ | ↑ | $C1_1=39$ | $C1_2=20$ | ↓ |
|  | 9 | ↓ | $A2_1=51$ | $A2_2=46$ | ↑ | ↓ | $B2_1=13$ | $B2_2=8$ | ↑ | ↓ | $C2_1=32$ | $C2_2=27$ | ↑ |
|  | 10 | ↑ | $A1_3=58$ | $A1_4=39$ | ↓ | ↑ | $B1_3=77$ | $B1_4=58$ | ↓ | ↑ | $C1_3=96$ | $C1_4=77$ | ↓ |
|  | 9 | ↓ | $A2_3=108$ | $A2_4=103$ | ↑ | ↓ | $B2_3=70$ | $B2_4=65$ | ↑ | ↓ | $C2_3=89$ | $C2_4=84$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_3 \to A2_3$ $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1 \to C1_1$ |
|  | $B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_1 \to B2_3$ $B1_4 \to B2_4$ | $B2_1$ | $B2_1 \to A1_1$ |
|  | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_3 \to C2_1$ $C1_4 \to C2_4$ | $C2_3$ | $C2_3 \to B1_3$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_3$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1 \to A2_3$ | $A2_1 \to A3_3 \to C1_1 \to C1_3$ |
|  | $B1_1 \to B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_4 \to B2_4$ | $B2_1 \to B2_3$ | $B2_1 \to B2_3 \to A1_1 \to A1_3$ |
|  | $C1_1 \to C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_4 \to C2_4$ | $C2_1 \to C2_3$ | $C2_1 \to C2_3 \to B1_1 \to B1_3$ |

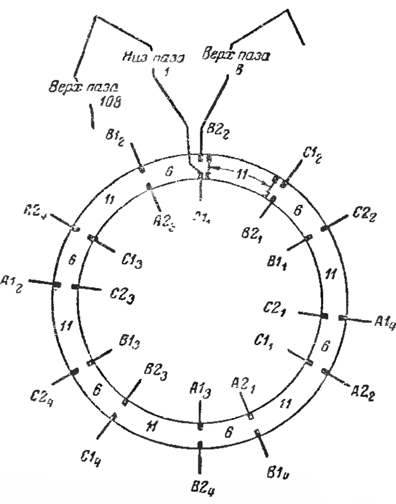



Рис. 7-34. Рабочая схема для 114 пазов, 16 полюсов, ППФ=$2^3/_8$.

Таблица 7-35

**Таблица соединений для 171 паза, 24 полюсов и ППФ = 2 3/8**

($y = 14$; $y_з = 7$; $y_п = 7$; $a = -2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-35)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A |  |  |  | Фаза B |  |  |  | Фаза C |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  |  | Нижние выводы |  | Верхние выводы |  | Нижние выводы |  | Верхние вывод |  | Нижние выводы |  | Верхние выводы |  |
|  |  | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
|  | 10 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=39$ | ↓ | ↑ | $B1_1=20$ | $B1_2=58$ | ↓ | ↑ | $C1_1=39$ | $C1_2=77$ | ↓ |
|  | 9 | ↓ | $A2_1=51$ | $A2_2=103$ | ↑ | ↓ | $B2_1=13$ | $B2_2=65$ | ↑ | ↓ | $C2_1=32$ | $C2_2=84$ | ↑ |
|  | 10 | ↑ | $A1_3=58$ | $A1_4=96$ | ↓ | ↑ | $B1_3=77$ | $B1_4=115$ | ↓ | ↑ | $C1_3=96$ | $C1_4=134$ | ↓ |
|  | 9 | ↓ | $A2_3=108$ | $A2_4=160$ | ↑ | ↓ | $B2_3=70$ | $B2_4=122$ | ↑ | ↓ | $C2_3=89$ | $C2_4=141$ | ↑ |
|  | 10 | ↑ | $A1_5=115$ | $A1_6=153$ | ↓ | ↑ | $B1_5=134$ | $B1_6=1$ | ↓ | ↑ | $C1_5=153$ | $C1_6=20$ | ↓ |
|  | 9 | ↓ | $A2_5=165$ | $A2_6=46$ | ↑ | ↓ | $B2_5=127$ | $B2_6=8$ | ↑ | ↓ | $C2_5=146$ | $C2_6=27$ | ↑ |

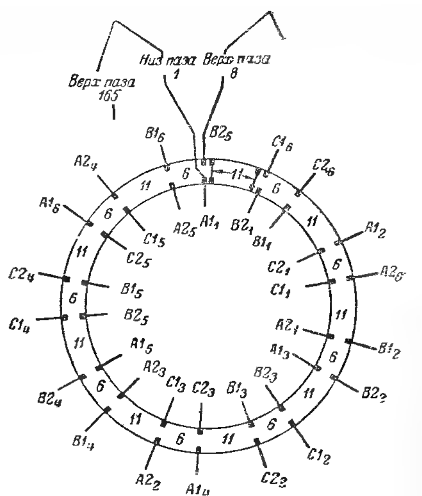



Рис. 7-35. Рабочая схема для 171 паза, 24 полюсов, ППВ=$2^3/_8$.

*Продолжение табл. 7-35*

## Соединения частей

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_6$ $A2_2 \to A1_4$ $A1_6 \to A2_4$ $A2_5 \to A1_5$ $A2_3 \to A1_3$ | $A2_1$ | $A2_1 \to B1_1$ |
| | $B1_3$ | $B1_6 \to B2_6$ $B2_4 \to B1_4$ $B2_2 \to B1_2$ $B2_1 \to B1_5$ $B2_5 \to B1_3$ | $B2_3$ | $B2_3 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_6 \to C2_6$ $C1_2 \to C2_2$ $C2_4 \to C1_4$ $C2_1 \to C1_5$ $C2_5 \to C1_3$ | $C2_3$ | $C2_3 \to A1_1$ |
| 3 | $A1_1 \to A1_3 \to A1_5$ | $A1_2 \to A2_6$ $A2_2 \to A1_4$ $A1_6 \to A2_4$ | $A2_1 \to A2_3 \to A2_5$ | $A2_1 \to A2_3 \to A2_5 \to B1_1 \to B1_3 \to B1_5$ |
| | $B1_1 \to B1_3 \to B1_5$ | $B1_4 \to B2_4$ $B1_2 \to B2_2'$ $B1_6 \to B2_6$ | $B2_1 \to B2_3 \to B2_5$ | $B2_1 \to B2_3 \to B2_5 \to C1_1 \to C1_3 \to C1_5$ |
| | $C1_1 \to C1_3 \to C1_5$ | $C1_4 \to C2_4$ $C1_2 \to C2_2$ $C1_6 \to C2_6$ | $C2_1 \to C2_3 \to C2_5$ | $C2_1 \to C2_3 \to C2_5 \to A1_1 \to A1_3 \to A1_5$ |

Таблица 7-36

**Таблица соединений для 105 пазов. 8 полюсов и ППФ=$4\,^3/_8$**

($y=26$; $y_з=13$; $y_п=13$; $a=-2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-36)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | | | Фаза C | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | | | полярность | начала | концы | полярность | | |
| 2 | 18 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=71$ | ↓ | ↑ | $B1_1=36$ | $B1_2=1$ | ↓ | | | ↑ | $C1_1=71$ | $C1_2=36$ | ↓ | | |
| | 17 | ↓ | $A2_1=93$ | $A2_2=84$ | ↑ | ↓ | $B2_1=23$ | $B2_2=14$ | ↑ | | | ↓ | $C2_1=58$ | $C2_2=49$ | ↑ | | |

## Соединения частей

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ | $B2_1$ | $B2_1 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ | $C2_1$ | $C2_1 \to A1_1$ |

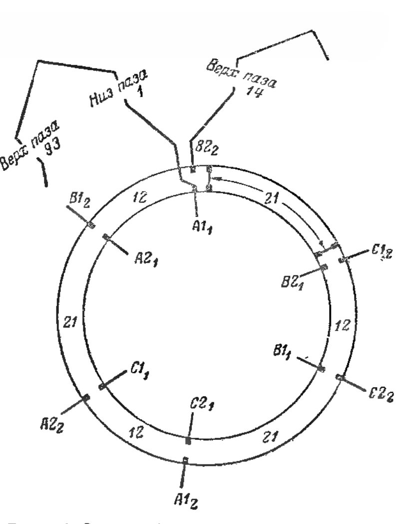



Рис. 7-36. Рабочая схема для 105 пазов, 8 полюсов, ППФ=$4^3/_8$.

Таблица 7-37

**Таблица соединений для 210 пазов, 16 полюсов и ППФ $= 4^3/_8$**

($y = 26$; $y_з = 13$; $y_п = 13$; $a = -2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-37)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А | | | | Фаза В | | | | Фаза С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 18 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=176$ | ↓ | ↑ | $B1_1=36$ | $B1_2=1$ | ↓ | ↑ | $C1_1=71$ | $C1_2=36$ | ↓ |
| | 17 | ↓ | $A2_1=93$ | $A2_2=84$ | ↑ | ↓ | $B2_1=23$ | $B2_2=14$ | ↑ | ↓ | $C2_1=58$ | $C2_2=49$ | ↑ |
| | 18 | ↑ | $A1_3=106$ | $A1_4=71$ | ↓ | ↑ | $B1_3=141$ | $B1_4=106$ | ↓ | ↑ | $C1_3=176$ | $C1_4=141$ | ↓ |
| | 17 | ↓ | $A2_3=198$ | $A2_4=189$ | ↑ | ↓ | $B2_3=128$ | $B2_4=119$ | ↑ | ↓ | $C2_3=163$ | $C2_4=154$ | ↑ |

Рис. 7-37. Рабочая схема для 210 пазов, 16 полюсов, ППФ$=4^3/_8$.

*Продолжение табл. 7-37*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$  $A1_3 \to A2_3$  $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1 \to B1_3$ |
| | $B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$  $B2_3 \to B1_1$  $B1_4 \to B2_4$ | $B2_1$ | $B2_1 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$  $C1_3 \to C2_1$  $C1_4 \to C2_4$ | $C2_3$ | $C2_3 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_3$ | $A1_2 \to A2_4$  $A1_4 \to A2_2$ | $A2_1 \to A2_3$ | $A2_1 \to A2_3 \to B1_1 \to B1_3$ |
| | $B1_1 \to B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$  $B1_4 \to B2_4$ | $B2_1 \to B2_3$ | $B2_1 \to B2_3 \to C1_1 \to C1_3$ |
| | $C1_1 \to C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$  $C1_4 \to C2_4$ | $C2_1 \to C2_3$ | $C2_1 \to C2_3 \to A1_1 \to A1_3$ |

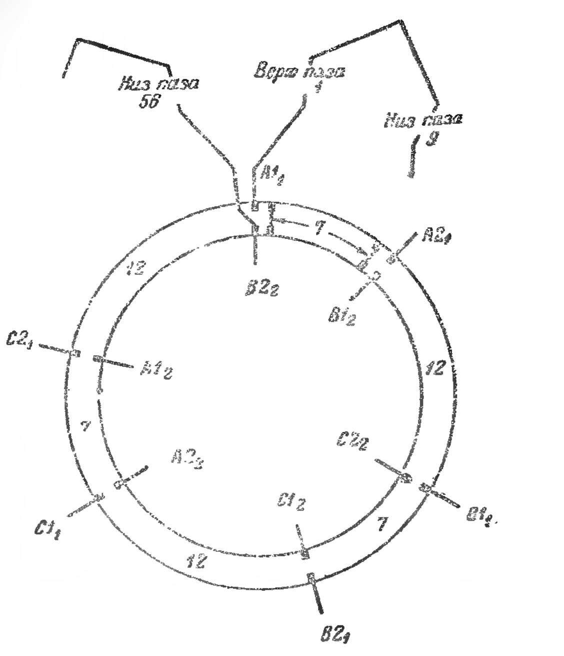



Рис. 7-38. Рабочая схема для 63 пазов, 8 полюсов, ППФ=$2^5/_8$.

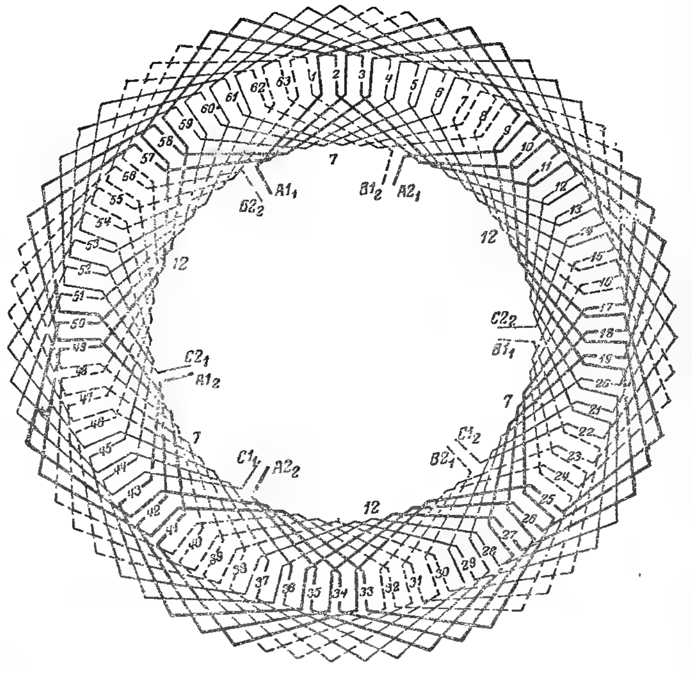



Рис. 7-38а. Полная схема для 63 пазов, 8 полюсов, ППФ=$2^5/_8$.



Таблица 7-38

**Таблица соединений для 63 пазов, 8 полюсов и ППФ = $2^5/_8$**

($y = 16$; $y_з = 8$; $y_п = 8$; $a = +2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-38)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 11 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=43$ | ↓ | ↑ | $B1_1=22$ | $B1_2=1$ | ↓ | ↑ | $C1_1=43$ | $C1_2=22$ | ↓ |
| | 10 | ↓ | $A2_1=9$ | $A2_2=35$ | ↑ | ↓ | $B2_1=30$ | $B2_2=56$ | ↑ | ↓ | $C2_1=51$ | $C2_2=14$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ | $B2_1$ | $B2_1 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ | $C2_1$ | $C2_1 \to A1_1$ |

Таблица 7-39

**Таблица соединений для 126 пазов, 16 полюсов и ППФ $= 2^5/_8$**
($y = 16$; $y_з = 8$; $y_п = 8$; $a = +2$; $d$=четному числу; $P$=нечетному числу)
(см. рабочую схему на рис. 7-39)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Верхние выводы | | Фаза А: Нижние выводы | | Фаза В: Верхние выводы | | Фаза В: Нижние выводы | | Фаза С: Верхние выводы | | Фаза С: Нижние выводы | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 11 | ↑ | A1₁=1 | A1₂=43 | ↓ | ↑ | B1₁=22 | B1₂=64 | ↓ | ↑ | C1₁=43 | C1₂=85 | ↓ |
| | 10 | ↓ | A2₁=9 | A2₂=35 | ↑ | ↓ | B2₁=30 | B2₂=56 | ↑ | ↓ | C2₁=51 | C2₂=77 | ↑ |
| | 11 | ↑ | A1₃=64 | A1₄=106 | ↓ | ↑ | B1₃=85 | B1₄=1 | ↓ | ↑ | C1₃=106 | C1₄=22 | ↓ |
| | 10 | ↓ | A2₃=72 | A2₄=98 | ↑ | ↓ | B2₃=93 | B2₄=119 | ↑ | ↓ | C2₃=114 | C2₄=14 | ↑ |

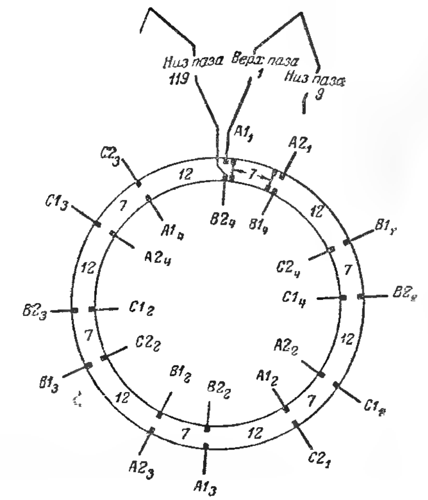



Рис. 7-39. Рабочая схема для 126 пазов, 16 полюсов, ППФ$=2^5/_8$.

*Продолжение табл. 7-39*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ $A1_3 \to A2_1$ $A1_4 \to A2_4$ | $A2_3$ | $A2_3 \to B1_3$ |
| | $B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_1 \to B2_3$ $B1_4 \to B2_4$ | $B2_1$ | $B2_1 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_3 \to C2_1$ $C1_4 \to C2_4$ | $C2_3$ | $C2_3 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_3$ | $A1_2 \to A2_2$ $A1_4 \to A2_4$ | $A2_1 \to A2_3$ | $A2_1 \to A2_3 \to B1_1 \to B1_3$ |
| | $B1_1 \to B1_3$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_4 \to B2_4$ | $B2_1 \to B2_3$ | $B2_1 \to B2_3 \to C1_1 \to C1_3$ |
| | $C1_1 \to C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_4 \to C2_4$ | $C2_1 \to C2_3$ | $C2_1 \to C2_3 \to A1_1 \to A1_3$ |

Таблица 7-40

**Таблица соединений для 189 пазов, 24 полюсов и ППФ $=2^5/_8$**

($y=16$; $y_з=8$; $y_п=8$; $a=+2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-40)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A, верхние выводы: полярность | Фаза A, верхние выводы: начала | Фаза A, нижние выводы: концы | Фаза A, нижние выводы: полярность | Фаза B, верхние выводы: полярность | Фаза B, верхние выводы: начала | Фаза B, нижние выводы: конец | Фаза B, нижние выводы: полярность | Фаза C, верхние выводы: полярность | Фаза C, верхние выводы: начала | Фаза C, нижние выводы: концы | Фаза C, нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 11 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=169$ | ↓ | ↑ | $B1_1=22$ | $B1_2=1$ | ↓ | ↑ | $C1_1=43$ | $C1_2=22$ | ↓ |
| | 10 | ↓ | $A2_1=9$ | $A2_2=161$ | ↑ | ↓ | $B2_1=30$ | $B2_2=182$ | ↑ | ↓ | $C2_1=51$ | $C2_2=14$ | ↑ |
| | 11 | ↑ | $A1_3=64$ | $A1_4=43$ | ↓ | ↑ | $B1_3=85$ | $B1_4=64$ | ↓ | ↑ | $C1_3=106$ | $C1_4=85$ | ↓ |
| | 10 | ↓ | $A2_3=72$ | $A2_4=35$ | ↑ | ↓ | $B2_3=93$ | $B2_4=56$ | ↑ | ↓ | $C2_3=114$ | $C2_4=77$ | ↑ |
| | 11 | ↑ | $A1_5=127$ | $A1_6=106$ | ↓ | ↑ | $B1_5=148$ | $B1_6=127$ | ↓ | ↑ | $C1_5=169$ | $C1_6=148$ | ↓ |
| | 10 | ↓ | $A2_5=135$ | $A2_6=98$ | ↑ | ↓ | $B2_5=156$ | $B2_6=119$ | ↑ | ↓ | $C2_5=177$ | $C2_6=140$ | ↑ |

Рис. 7-40. Рабочая схема для 189 пазов, 24 полюсов, ППФ$=2^5/_8$.

*Продолжение табл. 7-40*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ $A1_6 \to A2_6$ $A2_4 \to A1_4$ $A2_1 \to A1_3$ $A2_3 \to A1_5$ | $A2_5$ | $A2_5 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_6 \to B2_6$ $B2_4 \to B1_4$ $B2_1 \to B1_3$ $B2_3 \to B1_5$ | $B2_5$ | $B2_5 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_6 \to C2_6$ $C2_4 \to C1_4$ $C2_1 \to C1_3$ $C2_3 \to C1_5$ | $C2_5$ | $C2_5 \to A1_1$ |
| 3 | $A1_1 \to A1_3 \to A1_5$ | $A1_2 \to A2_2$ $A1_4 \to A2_4$ $A1_6 \to A2_6$ | $A2_1 \to A2_3 \to A2_5$ | $A2_1 \to A2_3 \to A2_5 \to B1_1 \to B1_3 \to$ $\to B1_5$ |
| | $B1_1 \to B1_3 \to B1_5$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_4 \to B2_4$ $B1_6 \to B2_6$ | $B2_1 \to B2_3 \to B2_5$ | $B2_1 \to B2_3 \to B2_5 \to C1_1 \to C1_3 \to$ $\to C1_5$ |
| | $C1_1 \to C1_3 \to C1_5$ | $C1_2 \to C2_2$ $C1_4 \to C2_4$ $C1_6 \to C2_6$ | $C2_1 \to C2_3 \to C2_5$ | $C2_1 \to C2_3 \to C2_5 \to A1_1 \to A1_3 \to$ $\to A1_5$ |

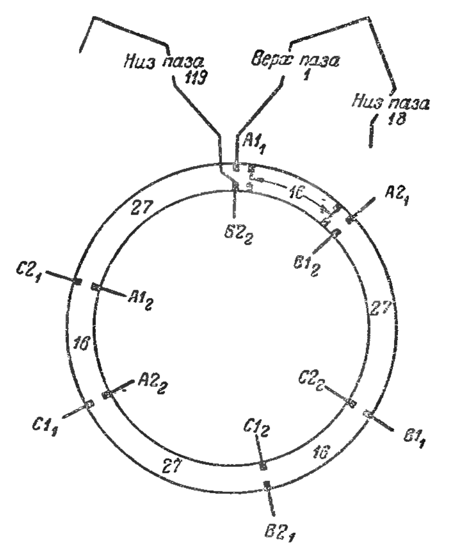



Рис. 7-41. Рабочая схема для 135 пазов, 8 полюсов, ППФ=$5^{5}/_{8}$.

Таблица 7-1

**Таблица соединений для 135 пазов, 8 полюсов и ППФ = $5^{5}/_{8}$**

($y = 34$; $y_з = 17$; $y_п = 17$; $a = +2$; $d$ равно четному числу; $P$ равно нечетному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-41)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 23 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=91$ | ↓ | ↑ | $B1_1=46$ | $B1_2=1$ | ↓ | ↑ | $C1_1=91$ | $C1_2—46$ | ↓ |
| | 22 | ↓ | $A2_1=18$ | $A2_2—74$ | ↑ | ↓ | $B2_1=63$ | $B2_2=119$ | ↑ | ↓ | $C2_1=108$ | $C2_2=29$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ | $A2_1$ | $A2_1 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ | $B2_1$ | $B2_1 \to C1_1$ |
| | $C1_1$ | $C1_2 \to C2_2$ | $C2_1$ | $C2_1 \to A1_1$ |

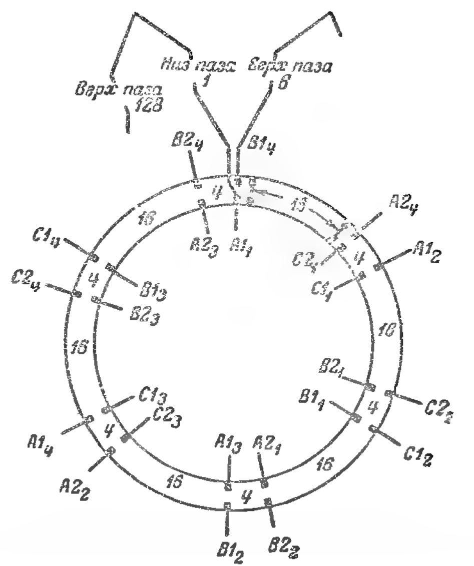



Рис. 7-42. Рабочая схема для 132 пазов, 26 полюсов, ППФ=$1^9/_{13}$.

Таблица 7-42

**Таблица соединений для 132 пазов, 26 полюсов и ППФ = $1^9/_{13}$**

($y = 10$; $y_з = 5$; $y_п = 5$; $a = -2$, $d$ равно нечетному числу; $P$ равно четному числу)

(см. рабочую схему на рис. 7-42)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние вывод | | Верхние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 4 | 11 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=28$ | ↓ | ↑ | $B1_1=45$ | $B1_2=72$ | ↓ | ↑ | $C1_1=23$ | $C1_2=50$ | ↓ |
| | 11 | ↑ | $A2_1=62$ | $A2_2=89$ | ↓ | ↓ | $B2_1=40$ | $B2_2=67$ | ↑ | ↓ | $C2_1=18$ | $C2_2=45$ | ↑ |
| | 11 | ↓ | $A1_3=67$ | $A1_4=94$ | ↑ | ↓ | $B1_3=111$ | $B1_4=6$ | ↑ | ↓ | $C1_3=89$ | $C1_4=116$ | ↑ |
| | 11 | ↓ | $A2_3=128$ | $A2_4=23$ | ↑ | ↑ | $B2_3=106$ | $B2_4=1$ | ↓ | ↑ | $C2_3=84$ | $C2_4=111$ | ↓ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_4$ $A2_3 \to A2_1$ $A2_2 \to A1_4$ | $A1_3$ | $A1_3 \to C1_3$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ $B2_1 \to B2_3$ $B2_4 \to B1_4$ | $B1_3$ | $B1_3 \to A1_1$ |
| | $C1_3$ | $C1_4 \to C2_4$ $C2_3 \to C2_1$ $C2_2 \to C1_2$ | $C1_1$ | $C1_1 \to B1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A1_4$ | $A1_2 \to A2_4$ $A1_3 \to A2_1$ | $A2_2 \to A2_3$ | $A2_2 \to A2_3 \to B1_1 \to B1_4$ |
| | $B1_1 \to B1_4$ | $B1_2 \to B2_2$ $B1_3 \to B2_3$ | $B2_4 \to B2_1$ | $B2_4 \to B2_1 \to C1_2 \to C1_3$ |
| | $C1_2 \to C1_3$ | $C1_1 \to C2_1$ $C1_4 \to C2_4$ | $C2_1 \to C2_3$ | $C2_2 \to C2_3 \to A1_1 \to A1_4$ |

Таблица 7-43

**Рабочие схемы и таблицы соединений приведены для следующих чисел полюсов и пазов**

| Число пазов | Число полюсов: 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Рабочие схемы и таблицы соединений | | | | | | | | | |
| 54 | 7-17 | | | | | | | | | |
| 57 | 7-33 | | | | | | | | | |
| 63 | 7-38 | | | | | | | | | |
| 72 | | 7-25 | | | | | | | | |
| 81 | | | 7-18 | | | | | | | |
| 84 | | 7-1 | | | | | | | | |
| 90 | 7-22 | | | 7-6 | | | | | | |
| 96 | | 7-4 | | 7-30 | | | | | | |
| 105 | 7-36 | | | | | | | | | |
| 108 | | | | | 7-19 | | | | | |
| 114 | | | | | 7-34 | | | | | |
| 120 | | | | 7-9 | | | 7-11 | | | |
| 126 | 7-20 | | | | 7-39 | | | | | [illegible] |
| 132 | | | | | | | | | 7-42 | |
| 135 | 7-41 | | 7-23 | | | | | | | |
| 144 | | 7-3 | | | | 7-26 | 7-12 | | 7-14 | |
| 150 | 7-21 | | | | | | | | | |
| 168 | | 7-28 | | | | 7-2 | | | 7-15 | |
| 171 | | | | | | | | 7-35 | | |
| 180 | | | | 7-32 | 7-24 | | | | | 7-7 |
| 189 | | | | | | | | 7-40 | | |
| 192 | | 7-27 | | | | 7-5 | | | | 7-31 |
| 210 | | | | | 7-37 | | | | | |
| 240 | | | | 7-8 | | | 7-13 | | | 7-10 |
| 336 | | | | | | 7-29 | | | 7-16 | |

Соответствующие значения ППФ указаны в табл. 3-5.

Рис. 7-43. Полная схема для 102 пазов, 14 полюсов, ППФ$=2^3/_7$.



Таблица 7-44

**Для определения шага обмотки и числа „сплетенных" обмоток на фазу**

| Дробная часть ППФ$=\frac{c}{d}$ | $^1/_4$ | $^3/_4$ | $^1/_5$ | $^2/_5$ | $^3/_5$ | $^4/_5$ | $^1/_7$ | $^2/_7$ | $^3/_7$ | $^4/_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{6c+a}{d}$ | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| $a$ | −2 | −2 | −1 | −2 | +2 | +1 | +1 | +2 | +3 | −3 |

| Дробная часть ППФ$=\frac{c}{d}$ | $^5/_7$ | $^6/_7$ | $^1/_8$ | $^3/_8$ | $^5/_8$ | $^7/_8$ | $^1/_{11}$ | $^2/_{11}$ | $^3/_{11}$ | $^4/_{11}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{6c+a}{d}$ | 4 | 5 | 1 | 2 | 4 | 5 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| $a$ | −2 | −1 | +2 | −2 | +2 | −2 | +5 | −1 | +4 | −2 |

| Дробная часть ППФ$=\frac{c}{d}$ | $^5/_{11}$ | $^6/_{11}$ | $^7/_{11}$ | $^8/_{11}$ | $^9/_{11}$ | $^{10}/_{11}$ | $^1/_{13}$ | $^2/_{13}$ | $^3/_{13}$ | $^4/_{13}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{6c+a}{d}$ | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| $a$ | +3 | −3 | +2 | −4 | +1 | −5 | −6 | +1 | −5 | +2 |

| Дробная часть ППФ$=\frac{c}{d}$ | $^5/_{13}$ | $^6/_{13}$ | $^7/_{13}$ | $^8/_{13}$ | $^9/_{13}$ | $^{10}/_{13}$ | $^{11}/_{13}$ | $^{12}/_{13}$ | $^1/_{16}$ | $^3/_{16}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{6c+a}{d}$ | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 0 | 1 |
| $a$ | −4 | +3 | −3 | +4 | −2 | +5 | −1 | +6 | −6 | −2 |

| Дробная часть ППФ$=\frac{c}{d}$ | $^5/_{16}$ | $^7/_{16}$ | $^9/_{16}$ | $^{11}/_{16}$ | $^{13}/_{16}$ | $^{15}/_{16}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{6c+a}{d}$ | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $a$ | +2 | +6 | −6 | −2 | +2 | +6 |

## ГЛАВА ВОСЬМАЯ

# НЕСИММЕТРИЧНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

**8-1. Характерные признаки рассматриваемых в главе обмоток.** Обмотки, рассматриваемые в данной главе, имеют те же отличительные признаки, что и несиметричные петлевые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, рассмотренные в гл. 5, поэтому все указания, сделанные в § 5-1, применимы и здесь. Таким образом, в данной главе имеются в виду два типа несимметричных обмоток: с числом пазов и знаменателем дроби ППФ, кратными числу фаз (3), и с числом пазов, не кратным числу фаз. В первом случае все пазы имеют по 2 катушечные стороны; во втором случае некоторые катушки удаляются и, следовательно, некоторые пазы имеют только по 1 катушечной стороне.

Соответственные значения числа пазов, числа полюсов и ППФ обмоток первого типа приведены в основной табл. 3-5 и отмечены звездочкой; соответственные значения числа пазов, числа полюсов и ППФ обмоток второго типа приведены в табл. 5-4.

Как и в предыдущих главах, имеются в виду левые катушки. Далее, если на паз приходится больше 2 проводников, т. е. больше 1 проводника на слой, то обмотку следует рассматривать как имеющую фиктивное число пазов, равное действительному числу пазов, умноженному на число проводников одного слоя. При этом фиктивном числе пазов обмотка снова будет представлять собой обмотку, имеющую только 1 проводник на слой, и тогда нумерация пазов будет совпадать с нумерацией проводников.

**8-2. Таблицы соединений и как ими пользоваться.** Таблицы соединений, составленные для различных чисел пазов и полюсов, указывают:



1) положение начал и концов частей обмотки 3 фаз;
2) число частей на фазу;
3) число катушек на часть;
4) полярности частей;
5) число и положение ненормальных передних шагов, если они имеются;
6) соединения — последовательное или параллельное, в звезду или треугольник;
7) шаг обмотки, равный $y$;
8) передний шаг, равный $y_n$;
9) задний шаг, равный $y_з$.

Существует слишком много несимметричных обмоток, так что было бы весьма трудно для всех этих обмоток составить таблицы соединений. Табл. 8-1—8-23 относятся к числам полюсов и пазов, которые наиболее часто встречаются на практике. В § 8-4—8-8 изложены общие методы составления схем для любого типа несимметричных обмоток. Использование таблиц соединений будет пояснено на двух примерах.

Рассмотрим 12-полюсную обмотку при 96 пазах и 2 проводниках на паз. Из основной табл. 3-5 находим, что ППФ=$2^2/_3$. При этом значении ППФ следует обратиться к таблице соединений 8-9. Каждая фаза состоит из 2 частей и каждая часть имеет одно и то же число катушек. Из таблиц также следует, что при 12 полюсах и 96 пазах выводами фазы *A* являются 2 верхних проводника *1* и *9* и 2 нижних проводника *59* и *67*, лежащих в пазах *1*, *9*, *59* и *67*; выводы фазы *B* лежат в верхних слоях пазов *38* и *46* и нижних слоях пазов *96* и *8*; выводы фазы *C* лежат в верхних слоях пазов *67* и *75* и нижних слоях пазов *30* и *38*. Задний шаг этой обмотки равен 8 пазовым делениям; передний шаг также равен 8 пазовым делениям, т. е. верхний проводник *1* надо соединить с нижним проводником 1+ +8=*9* и этот последний — с верхним проводником 9+8=*17* и т. д. Обмотка наматывается по стрелке часов.

Фазы *A* и *B* имеют по 2 удлиненных передних шага в каждой части; фаза *C* имеет 3 удлиненных передних шага в каждой части. Удлиненные передние шаги лежат перед верхними проводниками *2*, *3*, *4*, *5*, *6*, *7*, *8*, *10*, *11*, *12*, *13*, *14*, *15* и *16*.

Можно получить соединения последовательное и в 2 параллельные ветви. Для последовательного соединения $A_2$ должно быть соединено с $A_4$, $B_2$ с $B_4$, $C_2$ с $C_4$. Для парал-

лельного соединения $A_1$ должно быть соединено с $A_4$, $A_3$ с $A_2$, $B_1$ с $B_4$, $B_3$, с $B_2$, $C_1$ с $C_4$ и $C_3$ с $C_2$.

Для соединения 3 фаз в звезду надо $A_3$, $B_3$ и $C_1$ соединить в нулевую точку; для соединения в треугольник надо $A_3$ соединить с $B_1$, $B_3$ с $C_3$ и $C_1$ с $A_1$. Указанные соединения относятся как к последовательному, так и к параллельному соединению 2 частей обмотки. В обоих случаях $A_1$, $B_1$ и $C_3$ являются выводами, которые присоединяются к контактным кольцам или сети.

Как второй пример рассмотрим 18-полюсную обмотку при 114 пазах и 2 проводниках на паз. Основная табл. 3-5 дает для 18 полюсов и 114 пазов ППФ$=2^1/_9$. Таблицей соединений для этого значения ППФ служит табл. 8-20. Она указывает, что каждая фаза состоит из 6 частей. Число катушек неодинаково во всех частях.

Первая часть фазы $A$, $A1_1$—$A1_2$, имеет 7 катушек, выводы которых — верхний проводник *1* и нижний проводник *85*, лежащие в пазах с теми же номерами; вторая и третья части фазы $A$, $A2_1$ — $A2_2$ и $A3_1$ — $A3_2$, имеют по 6 катушек, выводы которых лежат соответственно в верхнем проводнике *20* и нижнем проводнике *91* и в верхнем проводнике *39* и нижнем проводнике *110*. Четвертая часть фазы $A$, $A1_3$—$A1_4$, имеет 7 катушек с выводами в верхнем проводнике *58* и нижнем проводнике *28*. Пятая и шестая части, $A2_3$—$A2_4$ и $A3_3$—$A3_4$, имеют по 6 катушек, так же как вторая и третья части, но с выводами соответственно в верхнем проводнике *77* и нижнем проводнике *34* и верхнем проводнике *96* и нижнем проводнике *53*.

Фаза $B$ имеет по 7 катушек в частях 3 и 6, т. е. в частях $B3_1$—$B3_2$ и $B3_3$—$B3_4$, и по 6 катушек в других 4 частях; фаза $C$ имеет по 7 катушек в частях 2 и 5, т. е. в частях $C2_1$—$C2_2$ и $C2_3$—$C2_4$, и по 6 катушек в других 4 частях.

Задний шаг обмотки равен 6 пазовым делениям, передний шаг равен 7 пазовым делениям, т. е. верхний проводник *1* соединяется с нижним проводником $1+6=7$; этот проводник соединяется с верхним проводником $7+7=14$ и т. д. Обмотка наматывается по стрелке часов. Она не имеет ненормальных передних шагов.

Первые 3 части и вторые 3 части каждой фазы должны быть соединены последовательно, т. е. в фазе $A$ надо соединить $A1_2$ с $A2_2$ и $A2_1$ с $A3_1$; далее, $A1_4$ с $A2_4$ и $A2_3$ с $A3_3$. Свободными концами будут $A1_1$ и $A3_2$ в первых 3 частях и $A1_3$ и $A3_4$ во вторых 3 частях. Соединения в фа-



зах $B$ и $C$ делаются аналогично; необходимо лишь в приведенных обозначениях начал и концов частей вместо $A$ подставить соответственно $B$ и $C$.

2 группы каждой фазы, полученные путем указанных соединений, могут быть соединены как последовательно, так и параллельно. Для последовательного соединения надо соединить $A3_2$ с $A3_4$, $B3_2$ с $B3_4$ и $C3_2$ с $C3_4$. Для параллельного соединения надо соединить $A1_1$ с $A3_4$, $A1_3$ с $A3_2$, $B1_1$ с $B3_4$, $B1_3$ с $B3_2$, $C1_1$ с $C3_4$ и $C1_3$ с $C3_2$.

Для сопряжения фаз в звезду при последовательном соединении надо $A1_3$, $B1_3$ и $C1_1$ соединить в нулевую точку; для сопряжения фаз в треугольник при последовательном соединении надо соединить $A1_3$ с $B1_1$, $B1_3$ с $C1_3$ и $C1_1$ с $A1_1$. То же самое применимо и при параллельном соединении 2 частей. В обоих случаях $A1_1$, $B1_1$ и $C1_3$ — выводы, присоединяемые к контактным кольцам или сети.

**8-3. Рабочие схемы.** Рабочие схемы, приведенные в данной главе, могут быть разделены на 2 класса: для обмоток с рядами катушек, имеющими ненормальные передние шаги ($d=3$ и $d=6$), и для обмоток с рядами катушек, не имеющими ненормальных передних шагов ($d=9$). Схемы для обмоток первого класса имеют начало и конец ряда катушек, определяемые по рис. 8-25. Для обмоток с $d=9$ те же точки определяются по рис. 7-44, если знак перед $a$ положительный, и по рис. 7-45, если знак перед $a$ отрицательный. Последовательность и положение начал и концов частей обмотки определяются тогда по таблицам соединений, как указывалось в § 7-3. В этих таблицах также указаны возможное число параллельных ветвей и соединения в звезду и треугольник. Рабочие схемы приведены для

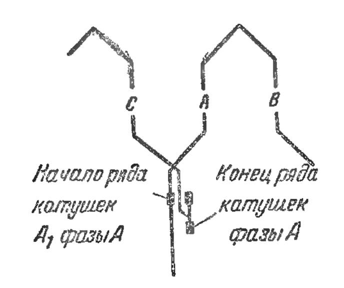



Рис. 8-25. Общая рабочая схема для определения начала и конца ряда катушек для обмоток при $d=3$ и $d=6$.

соотношений чисел пазов и полюсов, указанных в табл. 8-25. В этой таблице номера 8-1, 8-2 и т. д. относятся к рисункам, на которых представлены соответствующие рабочие схемы.

Полные схемы обмоток даны также для следующих случаев:

| | | |
|---|---|---|
| 84 паза; | 12 полюсов; | ППФ $= 2^1/_3$; |
| 117 пазов; | 18 полюсов; | ППФ $= 2^1/_6$; |
| 114 пазов; | 18 полюсов; | ППФ $= 2^1/_9$. |

**8-4. Шаг обмотки, задний шаг, передний шаг. Общие правила.** Формула для шага обмотки будет той же самой, что и для симметричной волновой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу (см. § 7-4):

$$\text{шаг обмотки} = 6b + \frac{6c + a}{d}, \tag{8-1}$$

где $b$ — целая часть ППФ; $c$ — числитель дроби ППФ и $d$ — знаменатель ее. Например, если ППФ$=2^1/_9$, то $b$ равно 2, $c$ равно 1 и $d$ равно 9. $a$ — снова наименьшее целое число, при котором шаг обмотки будет равен целому числу. Следовательно, для ППФ$=2^1/_9$ $a=+3$ и шаг обмотки равен $6\times2+\frac{6\times1+3}{9}=13$. В отдельных случаях $a$ может быть равно 0.

Если при одном и том же значении $a$ с положительным или отрицательным знаком величина $\frac{(6c+a)}{d}$ получается равной целому числу, то следует взять тот знак, при котором эта величина получается равной четному числу.

Значения $\frac{(6c+a)}{d}$ и $a$ для различных значений $\frac{c}{d}$ приведены в табл. 8-24. Согласно этой таблице для $d$, равного от 3 до 12, $a$ имеет значения 0, 3 и 6. Значение $a=0$ означает, что обмотку следует рассматривать как обмотку с целым числом пазов на полюс и фазу, для которой $d=1$ и $a=0$. Таким образом, обмотки при $a=0$, т. е. при $d=3$ и $d=6$, будут состоять из рядов катушек с ненормальными передними шагами (см. § 6-1). Обмотки при $a$, большем 0, не имеют ненормальных передних шагов, точно так же как и симметричные волновые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу (см. § 7-1); однако составление их схем несколько отличается от составления схем последних обмоток.



Если $a=0$, то каждая фаза состоит из 2 частей, точно так же как и в случае обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу.

Если $a$ больше 0, то его значение определяет число частей в каждой фазе; каждая фаза будет иметь $\left[\frac{(\text{число полюсов})}{d}\right]\times a$ частей. Далее, как и в случае симметричной волновой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, знак плюс перед $a$ означает, что обмотка наматывается по движению стрелки часов, причем все части начинаются с верхних проводников; знак минус перед $a$ означает, что обмотка наматывается против движения стрелки часов, причем все части начинаются с нижних проводников.

Составление схем несимметричных обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу основано на применении $D$-ряда. Однако таблица, соответствующая $D$-ряду несимметричных обмоток, заметно отличается от такой же таблицы симметричных обмоток. Значение $D$ определяется по уравнению

$$D = \frac{3NP+3}{d}, \tag{8-2}$$

где $N$ — числитель ППФ и $P$ — наименьшее целое число, включая нуль, при котором $D$ будет целым числом. Например, для ППФ$=2^1/_9=\frac{19}{9}$, $N=19$, $P=2$ и $D=13$.

Правила для составления схем несимметричных волновых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу, являющиеся общими для всех обмоток этого типа, заключаются в следующем:

а) Написать ППФ$=\frac{N}{d}$, где $N$ и $d$ не имеют общего делителя.

б) Определить значение $D$ по уравнению (8-2).

в) Написать сначала $D$-ряд

$$1,\ 1+D,\ 1+2D, \ldots,\ 1+(N-1)D \tag{8-3}$$

для $N$ чисел, причем все они должны быть меньше $N$; если же какое-нибудь число из них будет больше $N$, то из него надо вычесть $N$ или число, кратное $N$. Затем под $D$-рядом надо написать еще $\left(\frac{Z}{N}-1\right)$ рядов таким обра-

зом, чтобы числа каждого из $\frac{Z}{N}$ рядов были больше на $N$ чисел предшествующего ряда. Полученные таким образом $\frac{Z}{N}$ горизонтальных строк будут включать в себя пазы всей машины.

Для того чтобы коэффициент распределения по отношению к основной гармонике был наибольшим, пазы между фазами надо распределить так же, как и для несимметричной петлевой обмотки (см. § 5-4), т. е. $\frac{Z}{N}$ рядов должны быть разделены на 3 группы таким образом, чтобы пазы, принадлежащие каждой группе, были возможно ближе один к другому и чтобы каждая группа имела одно и то же число пазов [если число пазов не кратно 3, то некоторое определенное число катушек должно быть исключено (см. § 8-8)]. Применение этого правила к волновым обмоткам делает необходимым рассматривать эти обмотки отдельно, соответственно значению знаменателя дроби $d$, что будет пояснено на некоторых примерах с $Z$, кратным и не кратным 3. Независимо от значения $d$ части каждой фазы должны образовать ряды с шагом обмотки (см. § 7-4).

Вопрос о возможности параллельного соединения частей каждой фазы решается по-разному для отдельных случаев таким же образом, как было указано в отношении несимметричной петлевой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу (см. § 5-5).

**8-5. Составление схемы обмотки с числом пазов, кратным 3, и знаменателем ППФ, равным 3.** Из табл. 8-24 следует, что в данном случае $a=0$. Далее, уравнение (8-1) дает:

*шаг обмотки* $=2N$, *задний шаг* $=$ *передний шаг* $=N$.

Равенство $a=0$ означает, что обмотка может быть выполнена с такими же соединениями, как и волновая обмотка с целым числом пазов на полюс и фазу, т. е. соединена в ряды катушек и с ненормальными передними шагами. В $D$-ряде, найденном согласно п. «в» § 8-4, числа каждой горизонтальной строки, следующие одно за другим, отличаются на $D$, а числа каждого вертикального столбца, следующие одно за другим, отличаются на $N$. Так как шаг обмотки равен $2N$, то числа, образующие ряд с шагом обмотки

$$1,\ 1+(\text{шаг обмотки}),\ 1+2\times(\text{шаг обмотки}),\ \ldots,$$



представляют собой числа вертикального ряда, следующие через одно.

Как и в случае обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу, каждая фаза состоит из 2 частей независимо от числа полюсов. Так как число пазов $Z$ всегда кратно 6, то 6 частей обмотки могут быть всегда сделаны одинаковыми, т. е. всегда могут быть сделаны одинаковыми 2 части каждой фазы. Приведенные ниже формулы для начал и концов частей обмотки, а также примеры обмоток относятся к случаю одинаковых частей обмотки. Следует отметить, что 2 части каждой фазы могут быть также выполнены с неодинаковыми числами катушек, как показано в § 8-6 для обмоток с $d=6$. Выполнение обеих частей каждой фазы с одинаковыми числами катушек имеет преимущество в том, что обе части могут быть соединены как последовательно, так и параллельно; выполнение обеих частей с неодинаковыми числами катушек имеет преимущество в том, что число ненормальных передних шагов будет меньше, чем в случае одинаковых чисел катушек, но параллельное соединение 2 частей здесь невозможно.

Каждый ряд катушек состоит в данном случае из $\frac{Z}{2N}$ катушек, т. е. из $\frac{Z}{2N}$ верхних проводников и $\frac{Z}{2N}$ нижних проводников. Следовательно, для составления схемы обмотки надо начать с верхнего проводника *1* и намотать первый ряд из $\frac{Z}{2N}$ катушек, соблюдая при этом равенства: задний шаг равен переднему шагу равен $N$. Затем надо соединить последний проводник первого ряда катушек, т. е. нижний проводник, с верхним проводником *2* и намотать второй ряд катушек; последний проводник этого ряда надо соединить с верхним проводником *3* и т. д., пока не будут соединены между собой проводники, составляющие $^1/_6$ всех проводников. При этом получим первую часть фазы $A$. Начнем теперь с верхнего проводника, сдвинутого на передний шаг относительно последнего нижнего проводника первой части фазы $A$, и намотаем снова $^1/_6$ проводников. Получим часть *1* фазы $C$. Для части *1* фазы $B$ надо взять еще $^1/_6$ проводников и соединить их тем же способом. Следующая $^1/_6$ всех проводников будет представлять собой часть *2* фазы $A$ и т. д.

Вводя для сокращения

$$\left(\frac{Z}{6} - 1\right) \times \text{шаг обмотки} + \text{задний шаг} = g, \qquad (8\text{-}4)$$

получим следующие начала и концы частей:

$$\left.\begin{aligned}
A_1 &= 1;\\
A_2 &= 1 + g + \frac{N}{3}\ (\text{ц});\\
A_3 &= 1 + N;\\
A_4 &= A_3 + g + \frac{N}{3}\ (\text{ц});\\
C_1 &= A_2 + \text{передний шаг};\\
C_2 &= C_1 + g + \frac{2N}{3}\ (\text{ц}) - \frac{N}{3}\ (\text{ц});\\
C_3 &= C_1 + N;\\
C_4 &= C_3 + g + \frac{2N}{3}\ (\text{ц}) - \frac{N}{3}\ (\text{ц});\\
B_1 &= C_2 + \text{передний шаг};\\
B_2 &= B_1 + g + (N-1) - \frac{2N}{3}\ (\text{ц});\\
B_3 &= B_1 + N;\\
B_4 &= B_3 + g + (N-1) - \frac{2N}{3}\ (\text{ц});
\end{aligned}\right\} \qquad (8\text{-}5)$$

Буква ц, поставленная в скобках, указывает, что надо брать только ц е л у ю ч а с т ь числа. Если какая-нибудь из величин $A_2$, $A_4$, $C_1$ и т. д. получится большей, чем число пазов $Z$, то это последнее число или кратное ему надо вычесть. Число удлиненных передних шагов равно:

$$\frac{N}{3}\ (\text{ц}) \text{ в обеих группах фазы } A;$$

$$\frac{2N}{3}(\text{ц}) - \frac{N}{3}\ (\text{ц}) \text{ в обеих группах фазы } C;$$

$$(N-1) - \frac{2N}{3}\ (\text{ц}) \text{ в обеих группах фазы } B.$$

Полное число удлиненных передних шагов равно $2(N-1)$.



П р и м е р. Изложенный метод поясним на примере 12-полюсной обмотки при 96 пазах и 2 проводниках на паз. Основная табл. 3-5 дает для 12 полюсов и 96 пазов П.Ф $= 2^2/_3 = {}^8/_3$. Таким образом, $N = 8$, $d = 3$ и $c = 2$. Из табл. 8-24 следует, что для $^2/_3$ имеем $\left(\frac{6c + a}{d}\right) = 4$ и $a = 0$. Шаг обмотки равен $6 \times 2 + 4 = 16$ и задний шаг равен переднему шагу равен 8. По уравнению (8-2)

$$D = \frac{3 \times 8 \times P + 3}{3} = 1 \text{ при } P = 0,$$

т. е. $D$-ряд состоит из $N = 8$ чисел, возрастающих на 1. Число $D$-рядов равно $\frac{Z}{N} = \frac{96}{8} = 12$. Числа, следующие одно за другим в вертикальном столбце, отличаются на $N = 8$. Таким образом, согласно правилам „а" и „в" § 8-4 получаем следующие $D$-ряды:

| A | | | C | | | B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 |
| 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 |
| 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 |
| 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |
| 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 |
| 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 |

$D$-ряды

Эти ряды включают в себя все пазы (или все верхние, или все нижние проводники) машины.

Фаза $A$ будет начинаться с верхнего проводника *1*. Этот проводник надо соединить с нижним проводником $1+8=9$, а этот последний — с верхним проводником $9+8=17=1+\text{шаг обмотки}=1+2N$. Так как следующие одно за другим числа каждого столбца отличаются на $N$, то первый верхний проводник, следующий за верхним проводником *1*, является третьим числом (17) первого столбца. Ближайший следующий верхний проводник (*33*) является пятым числом первого столбца и т. д. Первый столбец, состоящий из $\frac{Z}{N} = \frac{96}{8} = 12$ чисел, включает в себя, следовательно, $\frac{Z}{2N} = 6$ верхних проводников 1, *17*, *33*, *49*, *65* и *81*, составляющих первый ряд катушек фазы $A$. Последний верхний проводник этого ряда катушек — *81*, а нижний проводник, к которому этот проводник должен быть присоединен, — $81+8=89$. Теперь передний шаг должен быть увеличен на 1, т. е. нижний проводник *89* должен быть соединен с верхним проводником $89+8+1=98-96=2$, который является первым проводником второго столбца.

Начиная с этого проводника, надо намотать второй ряд катушек (6 катушек); затем, снова увеличивая передний шаг на 1, наматывается третий ряд катушек, который начинается с верхнего проводника *3*, и т. д., пока не будут соединены между собой катушки, составляющие одну шестую всех катушек. При этом получается первая часть фазы $A$ с началом $A_1$ и концом $A_2$, которыми являются соответственно верхний и нижний проводники. Ближайший верхний проводник, следующий за $A_2$,— начало $C_1$ фазы $C$. Она наматывается так же, как фаза $A$, пока не будут включены в все катушки, составляющие вторую шестую часть всех катушек. Третья шестая часть образует первую часть фазы $B$, четвертая шестая часть — вторую часть фазы $A$, пятая шестая часть—вторую часть фазы $C$ и, наконец, шестая часть — вторую часть фазы $B$. Таким образом, получается следующая последовательность верхних проводников (или пазов):

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 1 | 17 | 33 | 49 | 65 | 81 | 2 | 18 | 34 | 50 | 66 | 82 | 3 | 19 | 35 | 51 | |
| $A_3$ | 9 | 25 | 41 | 57 | 73 | 89 | 10 | 26 | 42 | 58 | 74 | 90 | 11 | 27 | 43 | 59 | |
| $C_1$ | 67 | 83 | 4 | 20 | 36 | 52 | 68 | 84 | 5 | 21 | 37 | 53 | 69 | 85 | 6 | 22 | *y*-ряды |
| $C_3$ | 75 | 91 | 12 | 28 | 44 | 60 | 76 | 92 | 13 | 29 | 45 | 61 | 77 | 93 | 14 | 30 | |
| $B_1$ | 38 | 54 | 70 | 86 | 7 | 23 | 39 | 55 | 71 | 87 | 8 | 24 | 40 | 56 | 72 | 88 | |
| $B_3$ | 46 | 62 | 78 | 94 | 15 | 31 | 47 | 63 | 79 | 95 | 16 | 32 | 48 | 64 | 80 | 96 | |

Представленные ряды являются рядами с шагом обмотки. Удлиненные передние шаги имеют место перед началами рядов катушек, т. е. перед проводниками первых двух горизонтальных строк $D$-рядов, исключая проводники *1* и *9*, которые являются началами частей $A_1$—$A_2$ и $A_3$—$A_4$. Получается $2 \times N-2=14$ ненормальных передних шагов. Расстояние между ними (при указанных 2 исключениях) равно числу катушек в ряде катушек, т. е. 6.

Из приведенной выше таблицы (рядов с шагом обмотки) следует:

$$A_1=1;\quad A_2=51+8=59;\quad C_1=67;\quad C_2=22+8=30;$$
$$B_1=38;\quad B_2=83+8=96;\quad A_3=9;\quad A_1=59+8=67;$$
$$C_3=75;\quad C_4=30+8=38;\quad B_3=46;\quad B_4=96+8-96=8.$$

Формулы (8-4) и (8-5) дают те же результаты. Проверим, например, $C_4$:

$$g=\left(\frac{96}{6}-1\right)\times 16+8=248;$$
$$C_4=75+248+5-2=326-3\times 96=38.$$

Ломаные линии, проведенные в $D$-рядах, разделяют эти ряды на пазы 3 фаз. Пазы слева принадлежат фазе $A$, пазы в средней части — фазе $C$ и пазы справа — фазе $B$. Сравнение этого распределения с распределением, показанным в § 5-4 для несимметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу, подтверждает, что здесь также получается максимальный коэффициент распределения.

Рассмотрение таблицы для соединений (рядов с шагом обмотки) показывает, что обе части каждой фазы могут быть соединены параллельно. Это следует из того, что проводники части $A_3$—$A_4$ (или $C_3$—$C_4$, или $B_3$—$B_4$), которые соответствуют проводникам части $A_1$—$A_2$ (или $C_1$—$C_2$, или $B_1$—$B_2$) в рядах с шагом обмотки, находятся в том же самом столбце $D$-рядов (см. § 5-5). Например, для фазы $A$ соответствующие проводники *1* и *9* находятся в первом столбце, соответствующие проводники *18* и *26* находятся во втором столбце и т. д.



Как для последовательного, так и для параллельного соединения частей надо знать полярности начал (или концов). Отметим, что в случае $d=3$ полярности $A_1$ и $A_3$ ($C_1$ и $C_3$, $B_1$ и $B_3$) противоположны. То же самое применимо и к концам двух частей каждой фазы. Таким образом, для последовательного соединения надо соединить $A_2$ с $A_4$, $C_2$ с $C_4$ и $B_2$ с $B_4$. $A_1$, $A_3$, $C_1$, $C_3$, $B_1$ и $B_3$ — выводы. Для параллельного соединения надо соединить $A_1$ с $A_4$, $A_3$ с $A_2$, $C_1$ с $C_4$, $C_3$ с $C_2$, $B_1$ с $B_4$ и $B_3$ с $B_2$. Для соединения 3 фаз в звезду $A_3$, $B_3$ и $C_1$ должны быть соединены в нулевую точку; для соединения в треугольник должны быть соединены $A_3$ с $B_1$, $B_3$ с $C_3$ и $C_1$ с $A_1$. Это применимо как для последовательного, так и для параллельного соединения частей обмотки. В обоих случаях $A_1$, $B_1$ и $C_3$ — выводы для присоединения к контактным кольцам или сети.

**8-6. Составление схемы обмотки с числом пазов, кратным 3, и знаменателем ППФ, равным 6.** Из табл. 8-24 следует, что в данном случае $a=0$. Далее, уравнение (8-1) дает:

*шаг обмотки равен $N$; задний шаг равен $\frac{(N-1)}{2}$;*

*передний шаг равен $\frac{(N+1)}{2}$.*

$a=0$ здесь означает, как и в случае $d=3$, что обмотка может быть соединена так же, как волновая обмотка с целым числом пазов на полюс и фазу, т. е. в ряды катушек и с ненормальными передними шагами. Так как шаг обмотки равен $N$ и $N$ — разность между 2 следующими одно за другим числами вертикального столбца, то числа, образующие ряд с шагом обмотки:

1, $1+$(шаг обмотки), $1+2\times$(шаг обмотки)..., представляют собой следующие одно за другим числа вертикального столбца.

Как и в случаях $d=3$ для волновых обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу, каждая фаза состоит из 2 частей независимо от числа полюсов. Однако число пазов не всегда кратно 6, а в таких случаях 2 части каждой фазы должны иметь различные числа катушек. Если число пазов кратно 6, то обмотка может быть выполнена с 6 одинаковыми частями, как в случае $d=3$. Но здесь не получается преимущество, которое дает распределение на 6 одинаковых частей в случае $d=3$, а именно возможность осуществления 2 параллельных ветвей. Вследствие этого формулы для начал и концов частей обмотки и примеры, приведенные ниже, относятся к неодинаковым частям обмотки вне зависимости от того, будет ли число пазов кратно или не кратно 6.

Если числитель $c$ дроби ППФ равен 1 (например, $c=1$ для ППФ $=1^1/_6,\ 2^1/_6,\ 3^1/_6, \ldots$), то вторая часть каждой фазы должна быть выполнена с числом катушек, на $\frac{Z}{3N}$ большим числа катушек первой части. С другой стороны, если числитель дроби ППФ равен 5 (например, $c=5$ для ППФ $=1^5/_6,\ 2^5/_6,\ 3^5/_6,\ldots$), то вторая часть каждой фазы должна быть выполнена с числом катушек, на $\frac{Z}{3N}$ меньшим числа катушек первой части. Таким образом, получаются следующие часла катушек в 2 частях каждой фазы:

| $c=1$ | $c=5$ |
|---|---|
| *в первой части* $\frac{Z}{6}\left(\frac{N-1}{N}\right)$ *катушек*; | *в первой части* $\frac{Z}{6}\left(\frac{N+1}{N}\right)$ *катушек*; |
| *во второй части* $\frac{Z}{6}\left(\frac{N+1}{N}\right)$ *катушек.* | *во второй части* $\frac{Z}{6}\left(\frac{N-1}{N}\right)$ *катушек.* |

(8-6)

Для осуществления обмотки начинаем с верхнего проводника *1* и наматываем первый ряд из $\frac{Z}{N}$ катушек, принимая при этом задний шаг равным $\left(\frac{N-1}{2}\right)$ и передний шаг равным $\left(\frac{N+1}{2}\right)$. Эти первые $\frac{Z}{N}$ катушек образуют первый столбец $D$-рядов. Последний проводник первого ряда катушек (нижний проводник) соединяем с верхним проводником *2* и наматываем второй ряд катушек и т. д. В зависимости от того, является ли $c$ равным 1 или 5, $\frac{Z}{6}\left(\frac{N-1}{N}\right)$ или $\frac{Z}{6}\left(\frac{N+1}{N}\right)$ катушек соединяются между собой в указанной последовательности, что в результате дает первую часть фазы $A$. Первая часть фазы $C$ начинается с проводника, находящегося на 1 передний шаг плюс 1 впереди последнего нижнего проводника первой части фазы $A$, и имеет столько же катушек, как и первая часть фазы $A$. То же самое применимо к первой части фазы $B$ по отношению к фазе $C$. После того как закончена первая часть фазы $B$, выполняются вторые части 3 фаз. Вторая часть фазы $A$ начинается с проводника, лежащего на 1 передний шаг плюс 1 впереди последнего нижнего проводника первой части фазы $B$, и имеет $\frac{Z}{6}\left(\frac{N+1}{N}\right)$ или $\frac{Z}{6}\left(\frac{N-1}{N}\right)$ катушек в зависимости от того, будет ли $c$ равным 1 или 5.



Вторая часть фазы $C$ начинается с верхнего проводника, который находится на 1 передний шаг впереди последнего нижнего проводника второй части фазы $A$, и вторая часть фазы $B$ начинается с верхнего проводника, лежащего на 1 передний шаг впереди последнего нижнего проводника второй части фазы $C$.

Получаем следующие начала и концы частей:

а) $c=1$. Вводим для сокращения

$$\left(b\frac{Z}{N}-1\right)\times \textit{шаг обмотки} + \textit{задний шаг} + b - 1 = g_{12} \tag{8-7}$$

и

$$\left[(2\times ППФ - b)\frac{Z}{N}-1\right]\times \textit{шаг обмотки} + \textit{задний шаг} + (2\times ППФ - b)(ц) = g_{14}, \tag{8-8}$$

где $b$ — целая часть ППФ и (ц) снова указывает, что надо взять целую часть числа:

$$\left.\begin{array}{l|l}
A_1 = 1; & A_2 = 1 + g_{12}; \\
C_1 = A_2 + \textit{передний шаг} + 1; & C_2 = 2A_2 + \textit{передний шаг}; \\
B_1 = 2(A_2 + \textit{передний шаг}) + 1; & B_2 = 3A_2 + 2\times \textit{передний шаг}; \\
A_3 = 3(A_2 + \textit{передний шаг}) + 1; & A_4 = A_3 + g_{14}; \\
C_3 = A_4 + \textit{передний шаг}; & C_4 = 2A_4 - A_3 + \textit{передний шаг}; \\
B_3 = 2(A_4 + \textit{передний шаг}) - A_3; & B_4 = 3A_4 - 2(A_3 - \textit{передний шаг}).
\end{array}\right\} \tag{8-9}$$

Число удлиненных передних шагов в первых частях обмотки равно $(b-1)$ и во вторых частях обмотки равно $b$. Полное число удлиненных передних шагов равно $3(2b-1)$.

б) $c=5$. Вводим для сокращения

$$\left[(b+1)\frac{Z}{N}-1\right]\times \textit{шаг обмотки} + \textit{задний шаг} + b = g_{52} \tag{8-10}$$

и

$$\left[(2\times ППФ - b - 1)\frac{Z}{N}-1\right]\times \textit{шаг обмотки} + \textit{задний шаг} + (2\times ППФ - b - 1)(ц) = g_{54}; \tag{8-11}$$

$$
\left.
\begin{array}{l|l}
A_1 = 1; & A_2 = 1 + g_{52}; \\
C_1 = A_2 + \textit{передний шаг} + 1; & C_2 = 2A_2 + \textit{передний шаг}; \\
B_1 = 2(A_2 + \textit{передний шаг}) + 1; & B_2 = 3A_2 + 2 \times \textit{передний шаг}; \\
A_3 = 3(A_2 + \textit{передний шаг}) + 1; & A_4 = A_3 + g_{54}; \\
C_3 = A_4 + \textit{передний шаг}; & C_4 = 2A_4 - A_3 + \textit{передний шаг} + 1; \\
B_3 = 2(A_4 + \textit{передний шаг}) - & B_4 = 3A_4 - 2(A_3 - \textit{передний} \\
\qquad - A_3 + 1; & \qquad \textit{шаг}) + 1.
\end{array}
\right\} \quad (8\text{-}12)
$$

Если какое-нибудь из этих чисел получится бо́льшим $Z$, то $Z$ или кратное ему надо вычесть. Число удлиненных передних шагов в частях $A_1 - A_2$, $C_1 - C_2$, $B_1 - B_2$, $A_3 - A_4$ и $B_3 - B_4$ равно $b$; в части обмотки $C_3 - C_4$ оно равно $(b+1)$. Полное число ненормальных передних шагов равно $(6b+1)$.

Пример. Изложенный метод поясним на примере 12-полюсной обмотки при 102 пазах и 2 проводниках на паз. Основная табл. 3-5 дает для 12 полюсов и 102 пазов ППФ $= 2^5/_6 = \frac{17}{6}$. Таким образом, $N = 17$, $d = 6$ и $c = 5$. Из табл. 8-24 для 5/6 получаем $\frac{(6c+a)}{d} = 5$ и $a = 0$. Тогда шаг обмотки равен $6 \times 2 + 5 = 17 = N$; задний шаг равен $\frac{(17-1)}{2} = 8$ и передний шаг равен $\frac{(17+1)}{2} = 9$.

Из уравнения (8-2) следует:

$$D = \frac{3 \times 17 \times P + 3}{6} = 9 \text{ при } P = 1,$$

что дает согласно правилу „в" § 8-4 следующие $D$-ряды:

| A | | | | | | C | | | | | | B | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 2 | 11 | 3 | 12 | 4 | 13 | 5 | 14 | 6 | 15 | 7 | 16 | 8 | 17 | 9 | |
| 18 | 27 | 19 | 23 | 20 | 29 | 21 | 30 | 22 | 31 | 23 | 32 | 24 | 33 | 25 | 34 | 26 | |
| 35 | 44 | 36 | 45 | 37 | 46 | 38 | 47 | 39 | 48 | 40 | 49 | 41 | 50 | 42 | 51 | 43 | |
| 52 | 61 | 53 | 62 | 54 | 63 | 55 | 64 | 56 | 65 | 57 | 66 | 58 | 67 | 59 | 68 | 60 | $D$-ряды |
| 69 | 78 | 70 | 79 | 71 | 80 | 72 | 81 | 73 | 82 | 74 | 83 | 75 | 84 | 76 | 85 | 77 | |
| 86 | 95 | 87 | 96 | 88 | 97 | 89 | 98 | 90 | 99 | 91 | 100 | 92 | 101 | 93 | 102 | 94 | |

Каждая горизонтальная строка содержит $N = 17$ чисел (проводников), всего получается $\frac{Z}{N} = \frac{102}{17} = 6$ горизонтальных строк. Каждый столбец содержит 6 проводников, образующих ряд с шагом обмотки

$$1,\ 1 + 17 = 18,\ 18 + 17 = 35,\ 35 + 17 = 52 \ldots$$



436-2

Таблица для соединений (ряды с шагом обмотки), т. е. последовательность верхних проводников соответственно ранее приведенным в данном параграфе правилам (см. также § 8-5), имеет следующий вид:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 1 | 18 | 35 | 52 | 69 | 86 | 2 | 19 | 36 | 53 | 70 | 87 | 3 | 20 | 37 | 54 | 71 | 88 |
| $A_3$ | 10 | 27 | 44 | 61 | 78 | 95 | 11 | 23 | 45 | 62 | 79 | 96 | 12 | 29 | 46 | 63 | | |
| $C_1$ | 4 | 21 | 38 | 55 | 72 | 89 | 5 | 22 | 39 | 56 | 73 | 90 | 6 | 23 | 40 | 57 | 74 | 91 |
| $C_3$ | 80 | 97 | 13 | 30 | 47 | 64 | 81 | 98 | 14 | 31 | 48 | 65 | 82 | 99 | 15 | 32 | | у-ряды |
| $B_1$ | 7 | 24 | 41 | 58 | 75 | 92 | 8 | 25 | 42 | 59 | 76 | 93 | 9 | 26 | 43 | 60 | 77 | 94 |
| $B_3$ | 49 | 66 | 83 | 100 | 16 | 33 | 50 | 67 | 84 | 101 | 17 | 34 | 51 | 68 | 85 | 102 | | |

Так как $c$ равно 5, то первая часть каждой фазы состоит из $\frac{102}{6} \times \left(\frac{17+1}{17}\right) = 18$ катушек, а вторая часть каждой фазы состоит из $\frac{102}{6} \times \left(\frac{17-1}{17}\right) = 16$ катушек. Начиная с верхнего проводника *1*, соединяем проводники один за другим, учитывая, что задний шаг равен 8 и передний шаг равен 9. Тогда первые 18 катушек будут относиться к части *1* фазы $A$, следующие 18 катушек — к части *1* фазы $C$ и следующие 18 катушек — к части *1* фазы $B$. 16 катушек, следующие за частью *1* фазы $B$, образуют часть 2 фазы $A$; затем следуют 16 катушек для части *2* фазы $C$ и, наконец, 16 катушек для части *2* фазы $B$.

Всего будет $6 \times 2 + 1 = 13$ удлиненных передних шагов: 3 в части $C_3 - C_4$ и по 2 в других 5 частях. Удлиненные передние шаги будут иметь место перед началами рядов катушек, за исключением тех начал, которые являются началами частей обмотки. В данном случае будем иметь удлиненные передние шаги перед верхними проводниками *2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16* и *17*.

Из таблицы для соединений (рядов с шагом обмотки) имеем:

$$
\begin{array}{ll}
A_1 = \mathit{1}; & A_2 = 88 + 8 = \mathit{96}; \\
A_3 = \mathit{10}; & A_4 = 63 + 8 = \mathit{71}; \\
C_1 = \mathit{4}; & C_2 = 91 + 8 = \mathit{99}; \\
C_3 = \mathit{80}; & C_4 = 32 + 8 = \mathit{40}; \\
B_1 = \mathit{7}; & B_2 = 94 + 8 = \mathit{102}; \\
B_3 = \mathit{49}; & B_4 = 102 + 8 = 110 - 102 = \mathit{8}.
\end{array}
$$

формулы (8-10)—(8-12) дают те же самые результаты. Проверим, например, $C_4$:

$$g_{52} = \left(3 \times \frac{102}{17} - 1\right) \times 17 + 8 + 2 = 299;$$

$$g_{54} = \left[\left(2 \times 2^5/_6 - 2 - 1\right) \times \frac{102}{17} - 1\right)\right] \times 17 + 8 + 2 = 265;$$

$$A_2 = 1 + 299 - 2 \times 102 = \mathit{96};$$

$$A_3 = 3(96 + 9) + 1 = 316 - 3 \times 102 = \mathit{10};$$

$$A_4 = 10 + 265 - 2 \times 102 = \mathit{71};$$

$$C_4 = 2 \times 71 - 10 + 9 + 1 = 142 - 102 = \mathit{40}.$$

Пазы 3 фаз получаются разделением, как показано, $D$-рядов ломаными линиями. Это распределение пазов между 3 фазами дает по отношению к основной гармонике наибольший коэффициент распределения.

Из таблицы для соединений (рядов с шагом обмотки) следует, что 2 части фазы не могут быть соединены параллельно, так как они состоят из различных чисел катушек. В рассматриваемом случае число пазов (102) кратно 6 и, следовательно, 2 части каждой фазы могут быть выполнены с одинаковыми числами катушек $\frac{102}{6}=17$, но даже и в этом случае нельзя получить две параллельные ветви, так как пазы, соответствующие 2 частям фазы, не находятся в одних и тех же столбцах $D$-рядов (см. § 8-5).

При последовательном соединении надо иметь в виду, что полярности $A_1$ и $A_3$ ($C_1$ и $C_3$, $B_1$ и $B_3$) противоположны. Таким образом, $A_2$ надо соединить с $A_4$, $C_2$ — с $C_4$ и $B_2$ — с $B_4$. $A_1$, $A_3$, $C_1$, $C_3$ $B_1$ и $B_3$ — выводы.

$A_1$, $B_1$ и $C_3$ используются как начала фаз.

Рабочая схема для предыдущего примера показана на рис. 8-15, а необходимые соединения частей обмотки указаны в табл. 8-15.

Как практический пример выполнения 12-полюсной обмотки с 210 пазами при ППФ$=5^5/_3$ на рис. 8-18а представлена ее фотография со стороны выводов или концевых соединений. Рис. 8-18 — ее рабочая схема. Роторная обмотка соединена при последовательном соединении частей в треугольник согласно табл. 8-18.

**8-7. Составление схемы обмотки с числом пазов, кратным 3, и знаменателем ППФ, равным 9.** Из табл. 8-24 следует, что в данном случае $a=\pm 3$. Далее, из уравнений (8-1) и (8-2) имеем:

$$\left.\begin{array}{c}\textit{шаг обмотки равен } D,\\ \text{если } a \text{ — положительная величина;}\\ \textit{шаг обмотки равен } N-D,\\ \text{если } a \text{ — отрицательная величина.}\end{array}\right\} \qquad (8\text{-}13)$$

$a=\pm 3$ означает, что обмотка имеет те же отличительные признаки, что и симметричная волновая обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу (см. § 7-4). Таким образом, число частей в каждой фазе равно $\left(\frac{\text{число полюсов}}{d}\times a\right)$. Шаг обмотки зависит от значения $D$. Так как $D$ — разность между следующими друг за другом числами в горизонтальной строке $D$-ряда, то числа, образующие ряд с шагом обмотки, находятся в следующих друг за другом столбцах, а не в одном и том же столбце, как в случае, когда $d=3$ или $d=6$. Обмотка не имеет ненормальных передних шагов.

Для составления схемы обмотки сначала надо составить $D$-ряды согласно правилам „а" — „в" § 8-4. Получается $\frac{Z}{N}$ горизонтальных строк по $N$ пазов в каждой, содержащих все пазы обмотки. Затем из $D$-рядов надо определить



таблицу для соединений (ряды с шагом обмотки) таким же образом, как для симметричной волновой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу (см. § 7-9), а именно следующим образом:

Если $a$ положительно, надо начать с проводника *1* и найти в следующих друг за другом столбцах $N$ чисел, образующих ряд с шагом обмотки

$$1,\ 1+(\textit{шаг обмотки}),\ 1+2\times(\textit{шаг обмотки}),\ \ldots \qquad (8\text{-}14)$$

Это будет первой горизонтальной строкой таблицы для соединений. Начинаем теперь с $(1+N)$-го проводника, который следует за проводником *1* в первом столбце $D$-ряда, и снова находим $N$ чисел, образующих тот же самый ряд с шагом обмотки. Тогда это будет вторая горизонтальная строка таблицы для соединений. Продолжаем то же самое, начиная с третьего, четвертого, ... проводника первого столбца $D$-рядов, пока не получим $\frac{Z}{N}$ горизонтальных строк, образующих ряды с шагом обмотки [уравнение (8-14)]. Полученная таким образом таблица для соединений (ряды с шагом обмотки) будет включать в себя верхние проводники. Обмотка будет наматываться по стрелке часов.

Если $a$ отрицательно, надо начать с проводника *1* и найти в следующих один за другим столбцах $N$ чисел, образующих ряд с шагом обмотки

$$\left.\begin{array}{l}1,\ 1+Z-(\textit{шаг обмотки});\\ 1+Z-2\times(\textit{шаг обмотки}),\ \ldots\end{array}\right\} \qquad (8\text{-}15)$$

Это будет первой горизонтальной строкой таблицы для соединений. Начинаем теперь с $(1+N)$-го проводника, который следует за проводником *1* в первом столбце $D$-рядов, и снова находим $N$ чисел, образующих ряд с шагом обмотки (8-15), и т. д., пока не будет получено $\frac{Z}{N}$ горизонтальных строк. Полученная таким образом таблица для соединений (ряды с шагом обмотки) будет включать в себя нижние проводники. Обмотка будет наматываться против стрелки часов.

После того как определена таблица для соединений, следующим шагом будет распределение в этой таблице пазов (или верхних, или нижних проводников) между 3 фазами. Следует различать два случая:

а) $\frac{N}{3}=$ целому числу $+\frac{1}{3}=b'+\frac{1}{3}$.

В этом случае к 3 фазам относятся следующие числа пазов:

$$\left.\begin{array}{lccc} & A & C & B \\ \textit{первая горизонтальная строка} & \frac{(N+2)}{3} & \frac{(N-1)}{3} & \frac{(N-1)}{3}; \\ \textit{вторая горизонтальная строка} & \frac{(N-1)}{3} & \frac{(N+2)}{3} & \frac{(N-1)}{3}; \\ \textit{третья горизонтальная строка} & \frac{(N-1)}{3} & \frac{(N-1)}{3} & \frac{(N+2)}{3}. \end{array}\right\} \qquad (8\text{-}16)$$

Повторяем то же самое для каждых следующих 3 горизонтальных строк.

Каждая группа из 3 горизонтальных строк в таблице для соединений дает 3 части обмотки для каждой фазы. Части обмотки, полученные из первых 3 горизонтальных строк, обозначим следующим образом:

$$\begin{array}{lll} A1_1-A1_2 & C1_1-C1_2 & B1_1-B1_2 \\ A2_1-A2_2 & C2_1-C2_2 & B2_1-B2_2 \\ A3_1-A3_2 & C3_1-C3_2 & B3_1-B3_2 \end{array}$$

Части обмотки, полученные из 4-й, 5-й и 6-й горизонтальных строк, обозначим следующим образом:

$$\begin{array}{lll} A1_3-A1_4 & C1_3-C1_4 & B1_3-B1_4 \\ A2_3-A2_4 & C2_3-C2_4 & B2_3-B2_4 \\ A3_3-A3_4 & C3_3-C3_4 & B3_3-B3_4 \text{ и т. д.} \end{array}$$

После этого получаем следующие начала и концы частей обмотки:

$$\left.\begin{array}{l} a=+3 \\ A1_1=1 \\ A1_2=1+b'\times(\textit{шаг обмотки})+\textit{задний шаг} \\ C1_1=A1_2+\textit{передний шаг} \\ C1_2=C1_1+(b'-1)\times(\textit{шаг обмотки})+\textit{задний шаг} \\ B1_1=C1_2+\textit{передний шаг} \\ B1_2=B1_1+C1_2-C1_1 \\ A2_1=1+N \\ A2_2=A2_1+C1_2-C1_1 \\ C2_1=A2_2+\textit{передний шаг} \\ C2_2=C2_1+A1_2-A1_1 \\ B2_1=C2_2+\textit{передний шаг} \\ B2_2=B2_1+C1_2-C1_1 \\ A3_1=1+2N \\ A3_2=A3_1+C1_2-C1_1 \\ C3_1=A3_2+\textit{передний шаг} \\ C3_2=C3_1+C1_2-C1_1 \\ B3_1=C3_2+\textit{передний шаг} \\ B3_2=B3_1+A1_2-A1_1 \end{array}\right\} \quad (8\text{-}17)$$

$$\left.\begin{array}{l} a=-3 \\ A1_1=1 \\ A1_2=1+Z-b'\times(\textit{шаг обмотки})-\textit{задний шаг} \\ C1_1=A1_2-\textit{передний шаг} \\ C1_2=C1_1+Z-(b'-1)\times(\textit{шаг обмотки})-\textit{задний шаг} \\ B1_1=C1_2-\textit{передний шаг} \\ B1_2=B1_1+C1_2-C1_1 \\ A2_1=1+N \\ A2_2=A2_1+C1_2-C1_1 \\ C2_1=A2_2-\textit{передний шаг} \\ C2_2=C2_1+A1_2-A1_1 \\ B2_1=C2_2-\textit{передний шаг} \\ B2_2=B2_1+C1_2-C1_1 \\ A3_1=1+2N \\ A3_2=A3_1+C1_2-C1_1 \\ C3_1=A3_2-\textit{передний шаг} \\ C3_2=C3_1+C1_2-C1_1 \\ B3_1=C3_2-\textit{передний шаг} \\ B3_2=B3_1+A1_2-A1_1 \end{array}\right\} \quad (8\text{-}18)$$

Начала и концы с индексами 3 и 4 получаются путем прибавления $3N$ к началам и концам с индексами 1 и 2. Так, например,

$$\begin{array}{ll} A1_3=A1_1+3N, & A1_4=A1_2+3N, \\ A2_3=A2_1+3N, & A2_4=A2_2+3N, \end{array} \qquad (8\text{-}19)$$

и т. д. Это применимо как к положительному, так и к отрицательному значению $a$. Если какое-нибудь из чисел $A1_2$, $C1_1$, $C1_2$ и т. д. получается бо́льшим числа пазов $Z$, то $Z$ или кратное ему надо вычесть. Если какое-нибудь из чисел получается отрицательным, то $Z$ надо прибавить. Когда $a=+3$, то все начала (индексы 1, 3, 5, ...) — верхние проводники, а все концы (индексы 2, 4, 6, ...) — нижние проводники. Когда $a=-3$, то правильно обратное.

б) $\frac{N}{3}=$ целому числу $+\frac{2}{3}=b'+\frac{2}{3}$.

В этом случае в таблице для соединений (ряды с шагом обмотки) к 3 фазам относятся следующие числа пазов:

$$\begin{array}{lccc} & A & C & B \\ \textit{Первая горизонтальная строка} & \frac{(N+1)}{3} & \frac{(N-2)}{3} & \frac{(N+1)}{3}; \\ \textit{вторая горизонтальная строка} & \frac{(N-2)}{3} & \frac{(N+1)}{3} & \frac{(N+1)}{3}; \\ \textit{третья горизонтальная строка} & \frac{(N+1)}{3} & \frac{(N+1)}{3} & \frac{(N-2)}{3}. \end{array} \qquad (8\text{-}20)$$

Повторяем то же самое для каждых следующих 3 горизонтальных строк.

Как и в случае „а“, каждые 3 горизонтальные строки таблицы для соединений дают 3 части обмотки для каждой фазы. Учитывая предыдущие указания, получаем следующие начала и концы частей обмотки:

$a = +3$ (8-21)

$A1_1 = 1$

$A1_2 = 1 - b' \times$ (*шаг обмотки*) + *задний шаг*

$C1_1 = A1_2 -$ *передний шаг*

$C1_2 = C1_1 + (b' - 1) \times$ (*шаг обмотки*) + *задний шаг*

$B1_1 = C1_2 +$ *передний шаг*

$B1_2 = B1_1 + A1_2 - A1_1$

$A2_1 = 1 + N$

$A2_2 = A2_1 + C1_2 - C1_1$

$C2_1 = A2_2 +$ *передний шаг*

$C2_2 = C2_1 + A1_2 - A1_1$

$B2_1 = C2_2 +$ *передний шаг*

$B2_2 = B2_1 + A1_2 - A1_1$

$A3_1 = 1 + 2N$

$A3_2 = A3_1 + A1_2 - A1_1$

$C3_1 = A3_2 +$ *передний шаг*

$C3_2 = C3_1 + A1_2 - A1_1$

$B3_1 = C3_2 +$ *передний шаг*

$B3_2 = B3_1 + C1_2 - C1_1$

$a = -3$ (8-22)

$A1_1 = 1$

$A1_2 = 1 + Z - b' \times$ (*шаг обмотки*) − *задний шаг*

$C1_1 = A1_2 -$ *передний шаг*

$C1_2 = C1_1 + Z - (b' - 1) \times$ (*шаг обмотки*) − *задний шаг*

$B1_1 = C1_2 -$ *передний шаг*

$B1_2 = B1_1 + A1_2 - A1_1$

$A2_1 = 1 + N$

$A2_2 = A2_1 + C1_2 - C1_1$

$C2_1 = A2_2 -$ *передний шаг*

$C2_2 = C2_1 + A1_2 - A1_1$

$B2_1 = C2_2 -$ *передний шаг*

$B2_2 = B2_1 + A1_2 - A1_1$

$A3_1 = 1 + 2N$

$A3_2 = A3_1 + A1_2 - A1_1$

$C3_1 = A3_2 -$ *передний шаг*

$C3_2 = C3_1 + A1_2 - A1_1$

$B3_1 = C3_2 -$ *передний шаг*

$B3_2 = B3_1 + C1_2 - C1_1$



Начала и концы с индексами 3 и 4 получаются путем прибавления $3N$ к началам и концам с индексами 1 и 2, так же как в предыдущем п. „а“. Если какое-нибудь из чисел $A1_2$, $A2_1$, $A2_2$ и т. д. получается бо́льшим числа пазов $Z$, то $Z$ или кратное ему надо вычесть.

Замечания в п. „а“ в отношении влияния знака $a$ применимы и здесь.

Пример. Изложенный метод поясним на примере 18-полюсной обмотки при 114 пазах и 2 проводниках на паз. Основная табл. 3-5 для 18 полюсов и 114 пазов дает ППФ$=2^1/_9=\frac{19}{9}$. Таким образом, $N=19$, $d=9$ и $c=1$. Из табл. 8-24 для $^1/_9$ получаем $\frac{(6c+a)}{d}=1$ и $a=+3$.

Тогда шаг обмотки равен $6\times2+1=13$, задний шаг равен 6 и передний шаг равен 7. Из уравнения (8-2) следует:

$$D=\frac{3\times19\times P+3}{9}=13 \text{ при } P=2, \text{ т. е. шаг обмотки равен } D.$$

Применяя правило „в“ § 8-4, получим следующие $D$-ряды:

| A | | | | | | C | | | | | | | B | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14 | 8 | 2 | 15 | 9 | 3 | 16 | 10 | 4 | 17 | 11 | 5 | 18 | 12 | 6 | 19 | 13 | 7 | *D*-ряды |
| 20 | 33 | 27 | 21 | 34 | 28 | 22 | 35 | 29 | 23 | 36 | 30 | 24 | 37 | 31 | 25 | 38 | 32 | 26 | |
| 39 | 52 | 46 | 40 | 53 | 47 | 41 | 54 | 48 | 42 | 55 | 49 | 43 | 56 | 50 | 44 | 57 | 51 | 45 | |
| 58 | 71 | 65 | 59 | 72 | 66 | 60 | 73 | 67 | 61 | 74 | 68 | 62 | 75 | 69 | 63 | 76 | 70 | 64 | |
| 77 | 90 | 84 | 78 | 91 | 85 | 79 | 92 | 86 | 80 | 93 | 87 | 81 | 94 | 88 | 82 | 95 | 89 | 83 | |
| 96 | 109 | 103 | 97 | 110 | 104 | 98 | 111 | 105 | 99 | 112 | 106 | 100 | 113 | 107 | 101 | 114 | 108 | 102 | |

Каждая горизонтальная строка содержит $N=19$ чисел (пазы или проводники); всего получается $\frac{Z}{N}=\frac{114}{19}=6$ горизонтальных строк.

Таблица для соединений (ряды с шагом обмотки) согласно приведенным выше в данном параграфе правилам (см. также § 7-9) получает следующий вид:

| | A | | | | | | C | | | | | | | B | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A1_1$ | 1 | 14 | 27 | 40 | 53 | 66 | 79 | 92 | 105 | 4 | 17 | 30 | 43 | 56 | 69 | 82 | 95 | 108 | 7 | *y*-ряды |
| $A2_1$ | 20 | 33 | 46 | 59 | 72 | 85 | 98 | 111 | 10 | 23 | 36 | 49 | 62 | 75 | 88 | 101 | 114 | 13 | 26 | |
| $A3_1$ | 39 | 52 | 65 | 78 | 91 | 104 | 3 | 16 | 29 | 42 | 55 | 68 | 81 | 94 | 107 | 6 | 19 | 32 | 45 | |
| $A1_3$ | 58 | 71 | 84 | 97 | 110 | 9 | 22 | 35 | 48 | 61 | 74 | 87 | 100 | 113 | 12 | 25 | 38 | 51 | 64 | |
| $A2_3$ | 77 | 90 | 103 | 2 | 15 | 28 | 41 | 54 | 67 | 80 | 93 | 106 | 5 | 18 | 31 | 44 | 57 | 70 | 83 | |
| $A3_3$ | 96 | 109 | 8 | 21 | 34 | 47 | 60 | 73 | 86 | 99 | 112 | 11 | 24 | 37 | 50 | 63 | 76 | 89 | 102 | |

Так как $\frac{N}{3}=6\ ^1/_3$ равно целому числу$+^1/_3$, то распределение пазов, или проводников между 3 фазами должно соответствовать правилу, приведенному в п. „а“, т. е. в первых 3 горизонтальных

строках таблицы для соединений к 3 фазам должны быть отнесены следующие числа проводников:

| | $A$ | $C$ | $B$ |
|---|---|---|---|
| в первой горизонтальной строке | 7 | 6 | 6 |
| во второй горизонтальной строке | 6 | 7 | 6 |
| в третьей горизонтальной строке | 6 | 6 | 7 |

В следующих 3 горизонтальных строках распределение должно быть таким же, как и в первых 3 горизонтальных строках. В таблице для соединений это распределение указано ломаными линиями. Каждая фаза состоит из $\frac{\text{(числа полюсов)}}{d}\times a=\frac{18}{9}\times 3=6$ частей. Их начала и концы—следующие:

$$A1_1=1 \quad A1_2=79+6=85 \quad C1_1=92 \quad C1_2=43+6=49$$
$$A2_1=20 \quad A2_2=85+6=91 \quad C2_1=98 \quad C2_2=62+6=68$$
$$A3_1=39 \quad A3_2=104+6=110 \quad C3_1=3 \quad C3_2=68+6=74$$
$$A1_3=58 \quad A1_4=22+6=28 \quad C1_3=35 \quad C1_4=100+6=106$$
$$A2_3=77 \quad A2_4=28+6=34 \quad C2_3=41 \quad C2_4=5+6=11$$
$$A3_3=96 \quad A3_4=47+6=53 \quad C3_3=60 \quad C3_4=11+6=17$$

$$B1_1=56 \quad B1_2=7+6=13$$
$$B2_1=75 \quad B2_2=26+6=32$$
$$B3_1=81 \quad B3_2=45+6=51$$
$$B1_3=113 \quad B1_4=64+6=70$$
$$B2_3=18 \quad B2_4=83+6=89$$
$$B3_3=24 \quad B3_4=102+6=108$$

Формулы, приведенные в п. „а" для $a=+3$ [уравнение (8-17)], дают те же самые результаты. Проверим, например, $B2_4$:

$$A1_2=1+6\times13+6=85; \qquad C2_1=91+7=98;$$
$$C1_1=85+7=92; \qquad C2_2=98+85-1-114=68;$$
$$C1_2=92+5\times13+6-114=49; \qquad B2_1=68+7=75;$$
$$A2_1=1+19=20; \qquad B2_2=75+49-92=32;$$
$$A2_2=20+49-92+114=91; \qquad B2_4=32+3\times19=89.$$

Для того чтобы соединить 6 частей каждой фазы последовательно или параллельно, надо знать полярности начал. Для фазы $A$ они указаны на рис. 8-24. Фазы $C$ и $B$ имеют соответственно те же самые полярности.

Части $A1_1$—$A1_2$, $A2_1$—$A2_2$ и $A3_1$—$A3_2$ должны быть соединены последовательно, потому что они имеют различные числа катушек. Согласно рис. 8-24 $A1_2$ должно быть соединено с $A2_2$ и $A2_1$ и $A3_1$. Аналогично $A1_4$ должно быть соединено с $A2_4$ и $A2_3$ с $A3_3$. Таблица соединений этой обмотки — табл. 8-20; ее рабочая схема представлена на рис. 8-20. Полная схема обмотки показана на рис. 8-20а.

Для последовательного соединения 6 частей фазы $A$ надо соединить $A3_2$ с $A3_4$; выводами будут $A1_1$ и $A1_3$. Ряды с шагом обмотки показывают, что можно получить 2 параллельные ветви, а именно первые 3 части можно соединить параллельно со вторыми 3 частями. Последнее следует из того факта, что соответствующие проводники этих 2 групп с 3 частями в каждой находятся в т е х  ж е  с а м ы х  с т о л б ц а х $D$-рядов. Рассмотрим, например, фазу $C$. В этой фазе 2 части имеют по 7 проводников во 2-й и 5-й горизонтальных строках, по 2 из которых находятся один над другим в $D$-рядах. То же относится и к 2 частям, имеющим по 6 проводников в 3-й и 6-й горизонтальных строках, а также и к 2 частям, имеющим по 6 проводников в 1-й и 4-й горизонтальных строках.



↑ $A1_1$    $A1_2$ ↓
↓ $A2_1$    $A2_2$ ↑
↑ $A3_1$    $A3_2$ ↓
↓ $A1_3$    $A1_4$ ↑
↑ $A2_3$    $A2_4$ ↓
↓ $A3_3$    $A3_4$ ↑

Рис. 8-24. Полярности начал и концов частей фазы $A$ обмотки для 18 полюсов, 114 пазов при ППФ=$2^1/_9$, $d=9, a=+3$.

Для параллельного соединения 2 групп с 3 частями в каждой надо $A1_1$ соединить с $A3_4$ и $A1_3$—с $A3_2$.

$A1_1$, $B1_1$ и $C1_3$ могут быть использованы как начала фаз.

Во втором примере § 5-4 18-полюсная обмотка при 114 пазах рассматривалась как несимметричная петлевая обмотка; здесь же эта обмотка рассматривалась как несимметричная волновая обмотка. Сравнение пазов, распределенных между 3 фазами, показывает, что обе обмотки имеют одинаковую несимметрию.

**8-8. Составление схемы обмотки с числом пазов, не кратным 3.** Так как шаг обмотки и значение $D$ в $D$-рядах зависят от значения ППФ для всех волновых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу, то общие соотношения для несимметричных волновых обмоток с числом пазов, не кратным 3, будут такими же, как и для несимметричных волновых обмоток с числом пазов, кратным 3. Таким образом, соответственно табл. 8-24 и § 8-4—8-7 имеем:

$d=3$; $a=0$; шаг обмотки равен $2N$;
$d=6$; $a=0$; шаг обмотки равен $N$;
$d=9$; $a=+3$; шаг обмотки равен $D$;
$d=9$; $a=-3$; шаг обмотки равен $N-D$.

Это означает, что таблица для соединений (ряды с шагом обмотки) определяется из $D$-рядов так же, как было указано в § 8-5—8-7. Из-за того что число пазов не кратно 3, р а с п р е д е л е н и е  пазов между 3 фазами будет о т л и ч а т ь с я от распределения, указанного в § 8-5—8-7 для несимметричных обмоток с числом пазов, кратным 3. Следовательно, формулы для начал и концов частей, приведенные в указанных параграфах, в данном случае не могут быть применены.

Как и в случае, когда $Z$ кратно 3, обмотка наматывается в ряды катушек с соединением их ненормальными передними шагами, если $a=0$ (см. § 8-5 и 8-6); обмотка не имеет ненормальных передних шагов, если $a$ отличается от 0. Получаются 2 части в каждой фазе независимо от числа полюсов, если $a=0$; если $a$ не равно 0, то в каждой фазе получается $\left[\frac{\text{(число полюсов)}}{d}\times a\right]$ частей.

Соответствующие числа полюсов, пазов и ППФ приведены в табл. 5-4. Некоторое число катушек надо удалить,

чтобы получить одинаковое число катушек для всех 3 фаз. Величина несимметрии и возможность осуществления параллельных ветвей зависят от положения пазов, из которых удалены катушки (см. § 5-5). Поэтому несимметричные обмотки с числом пазов, не кратным 3, требуют отдельного рассмотрения.

Сказанное поясним на примере 8-полюсной обмотки при 64 пазах. Табл. 5-4 для 8 полюсов и 64 пазов дает ППФ $= 2^2/_3 = \frac{8}{3}$. Таким образом, $N=8$, $d=3$ и $c=2$. Из табл. 8-24 для $\frac{c}{d} = {}^2/_3$ получаем: $\frac{(6c+a)}{d} = 4$ и $a=0$. Тогда шаг обмотки равен $6 \times 2 + 4 = 16 = 2N$, задний шаг равен переднему шагу равен 8. Из уравнения (8-2) следует:

$$D = \frac{3 \times 8 \times P + 3}{3} = 1 \text{ при } P = 0.$$

Применяя правило „в“ § 8-4, получаем следующие $D$-ряды (см. также § 7-5):

| | A | | | C | | B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | (14) | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 |
| 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 |
| 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 |

$D$-ряды

Получается $\frac{Z}{N} = \frac{64}{3} = 8$ горизонтальных строк с $N = 8$ числами в каждой строке. Числа какой-либо горизонтальной строки получаются прибавлением $N=8$ к числам предшествующей строки.

Так как шаг обмотки равен $2N$, то числа, образующие ряд с шагом обмотки

1, 1 + (шаг обмотки), 1 + 2 × (шаг обмотки), . . .,

определяются как числа, следующие одно через другое в вертикальных столбцах.

Для составления схемы обмотки соединяем верхний проводник *1* с нижним проводником $1+8=$*9*, а этот последний проводник — с верхним проводником $9+8=$*17*, который является третьим проводником в первом столбце.



Теперь соединяем проводник *17* с нижним проводником $17+8=$*25*, заканчивая вторую катушку. Далее, соединяем нижний проводник *25* с верхним проводником $25+8=$*33*, который является пятым проводником первого столбца, и т. д. Как и в случае $\frac{Z}{3}$, равного целому числу (§ 8-5), $\frac{Z}{2N} = \frac{64}{16} = 4$ катушки образуют ряд катушек. После того как получены 4 катушки, увеличиваем передний шаг на 1 и соединяем последний нижний проводник первого ряда катушек, т. е. проводник $49+8=$*57*, с верхним проводником *2*, с которого начинается второй ряд катушек. Продолжаем далее так, как указано, пока не будет получена первая часть фазы $A$.

Так как $Z=64$, то 3 части обмотки будут иметь по 11 катушек и 3 части по 10 катушек. Одна катушка должна быть удалена. Таким образом, первую часть фазы $A$ получим, после того как будут соединены 11 катушек. Она будет содержать катушки с верхними проводниками *1*, *17*, *33*, *49*, *2*, *18*, *34*, *50*, *3*, *19* и *35*. Концом первой части фазы $A$ будет нижний проводник $35+8=$*43*. Сделав от этого нижнего проводника 1 шаг вперед, т. е. с верхнего проводника $43+8=$*51*, начинаем первую часть фазы $C$ и выполняем для нее соединения так же, как для первой части фазы $A$. Первая часть фазы $B$ с 10 катушками следует за первой частью фазы $C$ с 10 катушками. Затем следуют вторые части фаз $A$, $C$ и $B$ соответственно с 10, 11 и 11 катушками. При этом получаем следующую таблицу для соединений (ряды с шагом обмотки) всех 3 фаз:

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A1_1$ | 1 | 17 | 33 | 49 | 2 | 18 | 34 | 50 | 3 | 19 | 35 | |
| $A1_2$ | 9 | 25 | 41 | 57 | 10 | 26 | 42 | 58 | 11 | 27 | | |
| $C1_1$ | 51 | 4 | 20 | 36 | 52 | 5 | 21 | 37 | 53 | 6 | 22 | |
| $C1_2$ | 43 | 59 | 12 | 28 | 44 | 60 | 13 | 29 | 45 | 61 | (14) | у-ряды |
| $B1_1$ | 38 | 54 | 7 | 23 | 39 | 55 | 8 | 24 | 40 | 56 | | |
| $B1_2$ | 30 | 46 | 62 | 15 | 31 | 47 | 63 | 16 | 32 | 48 | 64 | |

Верхний проводник *14* и соответствующий нижний проводник $14+8=$*22* удаляются. Получается 13 удлиненных передних шагов перед верхними проводниками *2*, *3*, *4*, *5*, *6*, *7*, *8*, *10*, *11*, *12*, *13*, *15* и *16*. Распределение катушек между 3 фазами показано в $D$-рядах ломаными линиями.

Отклонение по углу равно $-2°9'$ для фазы $C$ и $-1°6'$ для фазы $B$. Отклонение по величине равно 1%. Удаленная катушка является **последней** катушкой второй волны

фазы $C$. Если удалить катушку 3 и выполнить распределение между фазами, как показано ниже:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | (3) | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | $D$-ряды |
| 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | |
| 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | |
| 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | |

то получается следующая таблица для соединений (ряды с шагом обмотки):

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A1_1$ | 1 | 17 | 33 | 49 | 2 | 18 | 34 | 50 | (3) | 19 | 35 | |
| $A1_3$ | 9 | 25 | 41 | 57 | 10 | 26 | 42 | 58 | 11 | 27 | 43 | |
| $C1_1$ | 51 | 4 | 20 | 36 | 52 | 5 | 21 | 37 | 53 | 6 | 22 | |
| $C1_3$ | 59 | 12 | 28 | 44 | 60 | 13 | 29 | 45 | 61 | 14 | | $y$-ряды |
| $B1_1$ | 38 | 54 | 7 | 23 | 39 | 55 | 8 | 24 | 40 | 56 | | |
| $B1_3$ | 30 | 46 | 62 | 15 | 31 | 47 | 63 | 16 | 32 | 48 | 64 | |

Удаленная катушка (3) лежит в первой волне фазы $A$ и не является последней катушкой волны. Отклонение по углу теперь будет $+1°5'$ для фазы $C$ и $-1°4'$ для фазы $B$. Отклонение по величине 0,5%.

Параллельное соединение 2 частей каждой фазы невозможно, потому что они имеют различные числа катушек. При последовательном соединении следует учитывать, что $A1_1$ и $A1_3$ ($C1_1$ и $C1_3$, $B1_1$ и $B1_3$) имеют противоположные полярности. Таким образом, для последовательного соединения надо соединить $A1_2$ с $A1_4$, $C1_2$ с $C1_4$ и $B1_2$ с $B1_4$, $A1_1$, $A1_3$, $C1_1$, $C1_3$, $B1_1$ и $B1_3$ — выводы.

$A1_1$, $B1_1$ и $C1_3$ используются как начала фаз, т. е. эти выводы присоединяются к контактным кольцам или сети.

**8-9. Величина несимметрии.** Та же самая несимметрия по величине электродвижущих или намагничивающих сил и по углу между ними, как и для несимметричной петлевой обмотки (см. § 5-7), может быть получена, если сделать распределение пазов между фазами таким же, как и для несимметричной петлевой обмотки. Рассмотренные в предыдущих параграфах примеры показывают, что это действительно возможно. Расчет величины несимметрии рассматривается в приложении 4.



Таблица 8-1

**Таблица соединений для 42 пазов, 6 полюсов и ППФ=$2^1/_3$**
($y$=14; $y_з$ —7; $y_п$ —7; $a$=0; $d$—3) (см. рабочую схему на рис. 8-1)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Верхние выводы, полярность | Фаза A: Верхние выводы, начала | Фаза A: Нижние выводы, концы | Фаза A: Нижние выводы, полярность | Фаза B: Верхние выводы, полярность | Фаза B: Верхние выводы, начала | Фаза B: Нижние выводы, концы | Фаза B: Нижние выводы, полярность | Фаза C: Верхние выводы, полярность | Фаза C: Верхние выводы, начала | Фаза C: Нижние выводы, концы | Фаза C: Нижние выводы, полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 7 | ↑ | $A_1$=1 | $A_2$=10 | ↓ | ↑ | $B_1$=33 | $B_2$=42 | ↓ | ↑ | $C_1$=17 | $C_2$=26 | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A_3$=8 | $A_4$=17 | ↑ | ↓ | $B_3$=40 | $B_4$=7 | ↑ | ↓ | $C_3$=24 | $C_4$=33 | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3$—$C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 и 14

Рис. 8-1. Рабочая схема для 42 пазов, 6 полюсов, ППФ=$2^1/_3$.

Рис. 8-2. Рабочая схема для 84 пазов, 12 полюсов, ППФ=$2^1/_3$.

Рис. 8-2а. Полная схема для 84 пазов, 12 полюсов, ППФ=$2^1/_3$.

Таблица 8-2

**Таблица соединений для 84 пазов, 12 полюсов и ППФ=$2^1/_3$**

($y$=14; $y_з$ =7; $y_п$ =7; $a$=0; $d$=3) (см. рабочую схему на рис. 8-2)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А | | | | Фаза В | | | | Фаза С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | поляр-ность | начала | концы | поляр-ность | поляр-ность | начала | концы | поляр-ность | поляр-ность | начала | концы | поляр-ность |
| 2 | 14 | ↑ | $A_1$=1 | $A_2$=24 | ↓ | ↑ | $B_1$=61 | $B_2$=84 | ↓ | ↑ | $C_1$=31 | $C_2$=54 | ↓ |
| | 14 | ↓ | $A_3$=8 | $A_4$=31 | ↑ | ↓ | $B_3$=63 | $B_4$=7 | ↑ | ↓ | $C_3$=33 | $C_4$=61 | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2$→$A_4$ | $A_3$ | $A_3$→$B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2$→$B_4$ | $B_3$ | $B_3$→$C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2$→$C_4$ | $C_1$ | $C_1$→$A_1$ |
| 2 | $A_1$→$A_4$ | — | $A_2$→$A_3$ | $A_2$→$A_3$→$B_1$→$B_4$ |
| | $B_1$→$B_4$ | — | $B_2$→$B_3$ | $B_2$→$B_3$→$C_2$→$C_3$ |
| | $C_2$→$C_3$ | — | $C_1$→$C_4$ | $C_1$→$C_4$→$A_1$→$A_4$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 и 14.

Таблица 8-3

**Таблица соединений для 126 пазов, 18 полюсов и ППФ=$2^1/_3$**
($y$=14; $y_з$ =7; $y_n$=7; $a$=0, $d$=3) (см. рабочую схему на рис. 8-3)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза A: Верхние выводы: начала | Фаза A: Нижние выводы: концы | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: начала | Фаза B: Нижние выводы: концы | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: начала | Фаза C: Нижние выводы: концы | Фаза C: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 21 | ↑ | $A_1$=1 | $A_2$=33 | ↓ | ↑ | $B_1$=89 | $B_2$=126 | ↓ | ↑ | $C_1$=45 | $C_2$=82 | ↓ |
| | 21 | ↓ | $A_3$=8 | $A_4$=45 | ↑ | ↓ | $B_3$=96 | $B_4$=7 | ↑ | ↓ | $C_3$=52 | $C_4$=89 | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_1$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 и 14.

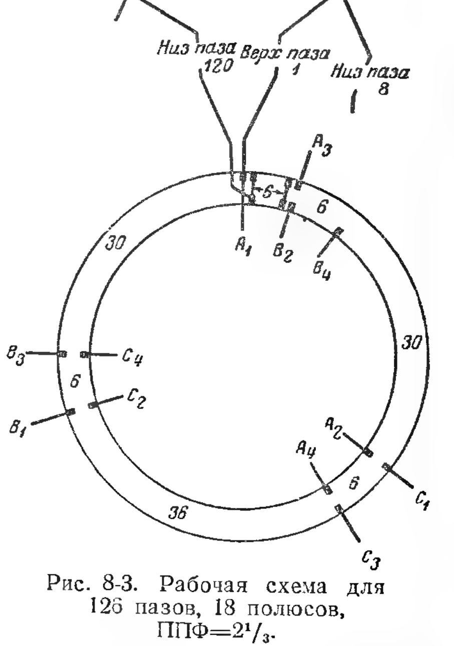



Рис. 8-3. Рабочая схема для 126 пазов, 18 полюсов, ППФ=$2^1/_3$.

Таблица 8-4

**Таблица соединений для 120 пазов, 12 полюсов и ППФ=$3^1/_3$**
($y$ = 20; $y$=10; $y_n$ = 10; $a$ = 0; $d$ = 3) (см. рабочую схему на рис. 8-4)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза A: Верхние выводы: начала | Фаза A: Нижние выводы: концы | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Верхние выводы: начала | Фаза B: Нижние выводы: концы | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Верхние выводы: начала | Фаза C: Нижние выводы: концы | Фаза C: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 20 | ↑ | $A_1$=1 | $A_2$=34 | ↓ | ↑ | $B_1$=87 | $B_2$=120 | ↓ | ↑ | $C_1$=44 | $C_2$=77 | ↓ |
| | 20 | ↓ | $A_3$=11 | $A_4$=44 | ↑ | ↓ | $B_3$=97 | $B_4$=10 | ↑ | ↓ | $C_3$=54 | $C_4$=87 | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 и 20.

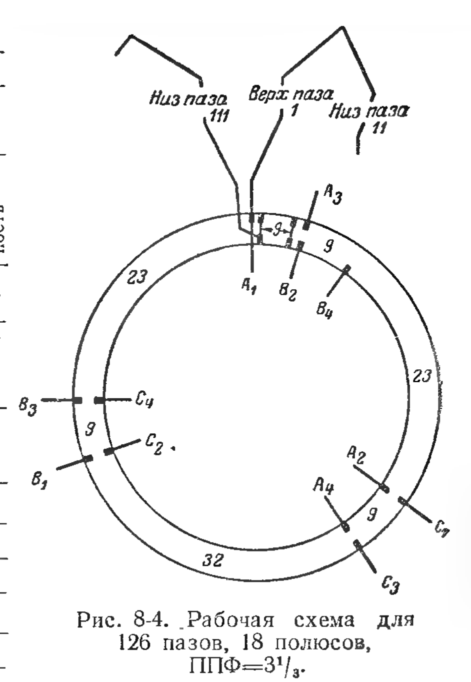



Рис. 8-4. Рабочая схема для 126 пазов, 18 полюсов, ППФ=$3^1/_3$.

Таблица 8-5

**Таблица соединений для 240 пазов, 24 полюсов и ППФ=$3^1/_3$**

($y$=20; $y_з$ =10; $y_п$ =10; $a$=0; $d$=3) (см. рабочую схему на рис. 8-5)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | | | Фаза B | | | | | | Фаза C | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | | | полярность | начала | концы | полярность | | | полярность | начала | концы | полярность | | |
| 2 | 40 | ↑ | $A_1$=1 | $A_2$=74 | ↓ | | | ↑ | $B_1$=167 | $B_2$=240 | ↓ | | | ↑ | $C_1$=84 | $C_2$=157 | ↓ | | |
| | 40 | ↓ | $A_3$=11 | $A_4$=84 | ↑ | | | ↓ | $B_3$=177 | $B_4$=10 | ↑ | | | ↓ | $C_3$=94 | $C_1$=167 | ↑ | | |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2$→$A_4$ | $A_3$ | $A_3$→$B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2$→$B_4$ | $B_3$ | $B_3$→$C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2$→$C_4$ | $C_1$ | $C_1$→$A_1$ |
| 2 | $A_1$→$A_4$ | — | $A_2$→$A_3$ | $A_2$→$A_3$→$B_1$→$B_4$ |
| | $B_1$→$B_4$ | — | $B_2$→$B_3$ | $B_2$→$B_3$→$C_2$→$C_3$ |
| | $C_2$→$C_3$ | — | $C_1$→$C_1$ | $C_1$→$C_4$→$A_1$→$A_4$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 и 20.

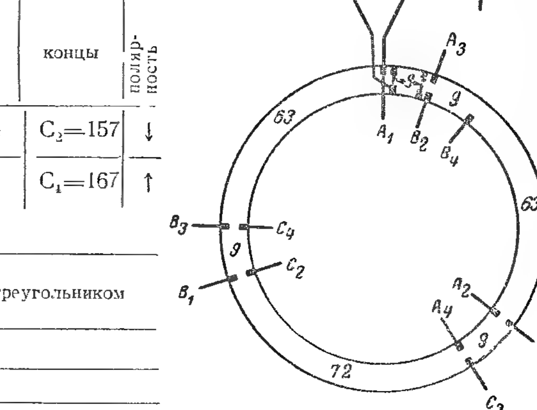



Рис. 8-5. Рабочая схема для 240 пазов, 24 полюсов, ППФ=$3^1/_3$.

Таблица 8-6

**Таблица соединений для 96 пазов, 6 полюсов, ППФ = $5^1/_3$**

($y$ = 32; $y_з$ = 16; $y_п$ = 16; $a$ = 0; $d$ = 3) (см. рабочую схему на рис. 8-6)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | | | Фаза B | | | | | | Фаза C | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | | | полярность | начала | концы | полярность | | | полярность | начала | концы | полярность | | |
| 2 | 16 | ↑ | $A_1$=1 | $A_2$=22 | ↓ | | | ↑ | $B_1$=75 | $B_2$=96 | ↓ | | | ↑ | $C_1$=33 | $C_2$=59 | ↓ | | |
| | 16 | ↓ | $A_3$=17 | $A_4$=33 | ↑ | | | ↓ | $B_3$=91 | $B_4$=16 | ↑ | | | ↓ | $C_3$=54 | $C_4$=75 | ↑ | | |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2$→$A_4$ | $A_3$ | $A_3$→$B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2$→$B_4$ | $B_3$ | $B_3$→$C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2$→$C_4$ | $C_1$ | $C_1$→$A_1$ |
| 2 | $A_1$→$A_4$ | — | $A_2$→$A_3$ | $A_2$→$A_3$→$B_1$→$B_4$ |
| | $B_1$→$B_4$ | — | $B_2$→$B_3$ | $B_2$→$B_3$→$C_2$→$C_3$ |
| | $C_2$→$C_3$ | — | $C_1$→$C_4$ | $C_1$→$C_4$→$A_1$→$A_4$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 и 32.

Рис. 8-6. Рабочая схема для 96 пазов, 6 полюсов, ППФ=$5^1/_3$.

Таблица 8-7

**Таблица соединений для 192 пазов, 12 полюсов и ППФ $= 5^1/_3$**
($y = 32$; $y_з = 16$; $y_п = 16$; $a = 0$; $d = 3$) (см. рабочую схему на рис. 8-7)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Верхние выводы: полярность | Фаза А: Верхние выводы: начала | Фаза А: Нижние выводы: концы | Фаза А: Нижние выводы: полярность | Фаза В: Верхние выводы: полярность | Фаза В: Верхние выводы: начала | Фаза В: Нижние выводы: концы | Фаза В: Нижние выводы: полярность | Фаза С: Верхние выводы: полярность | Фаза С: Верхние выводы: начала | Фаза С: Нижние выводы: концы | Фаза С: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 32 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=54$ | ↓ | ↑ | $B_1=139$ | $B_2=192$ | ↓ | ↑ | $C_1=70$ | $C_2=123$ | ↓ |
| | 32 | ↓ | $A_3=17$ | $A_4=70$ | ↑ | ↓ | $B_3=155$ | $B_4=16$ | ↑ | ↓ | $C_3=86$ | $C_4=139$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 и 32.

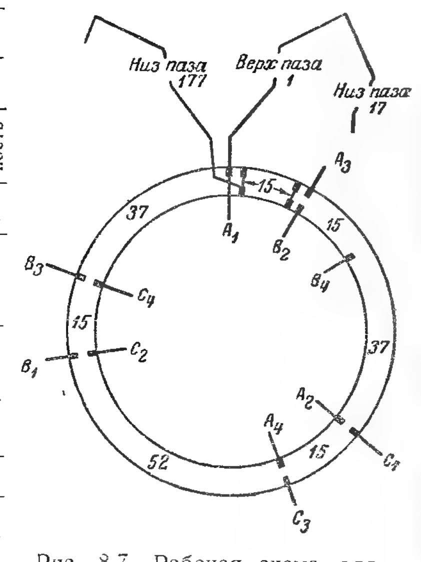



Рис. 8-7. Рабочая схема для 192 пазов, 12 полюсов, ППФ$=5^1/_3$.

Таблица 8-8

**Таблица соединений для 48 пазов, 6 полюсов и ППФ $= 2^2/_3$**
($y = 16$; $y_з = 8$; $y_п = 8$; $a = 0$; $d = 3$) (см. рабочую схему на рис. 8-8)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Верхние выводы: полярность | Фаза А: Верхние выводы: начала | Фаза А: Нижние выводы: концы | Фаза А: Нижние выводы: полярность | Фаза В: Верхние выводы: полярность | Фаза В: Верхние выводы: начала | Фаза В: Нижние выводы: концы | Фаза В: Нижние выводы: полярность | Фаза С: Верхние выводы: полярность | Фаза С: Верхние выводы: начала | Фаза С: Нижние выводы: концы | Фаза С: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 8 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=27$ | ↓ | ↑ | $B_1=22$ | $B_2=48$ | ↓ | ↑ | $C_1=35$ | $C_2=14$ | ↓ |
| | 8 | ↓ | $A_3=9$ | $A_4=35$ | ↑ | ↓ | $B_3=30$ | $B_4=8$ | ↑ | ↓ | $C_3=43$ | $C_4=22$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

Удлиненные передние шаги — перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15 и 16.

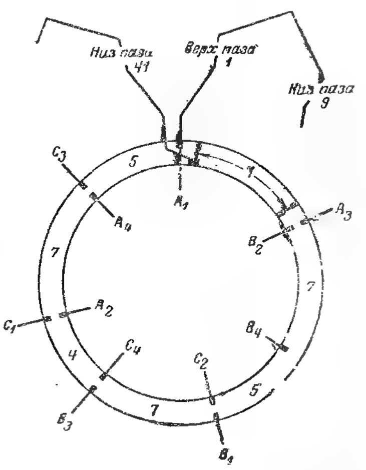



Рис. 8-8. Рабочая схема для 48 пазов, 6 полюсов, ППФ $= 2^2/_3$.

Таблица 8-9

**Таблица соединений для 96 пазов, 12 полюсов и ППФ — $2^2/_3$**

($y = 16$; $y_з = 8$; $y_n = 8$; $a = 0$; $d = 3$) (см. рабочую схему на рис. 8-9)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А | | | | Фаза В | | | | Фаза С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 16 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2$—59 | ↓ | ↑ | $B_1=38$ | $B_2=96$ | ↓ | ↑ | $C_1$—67 | $C_2=30$ | ↓ |
| | 16 | ↓ | $A_3=9$ | $A_4=67$ | ↑ | ↓ | $B_3=46$ | $B_4=8$ | ↑ | ↓ | $C_3=75$ | $C_4=38$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15 и 16.

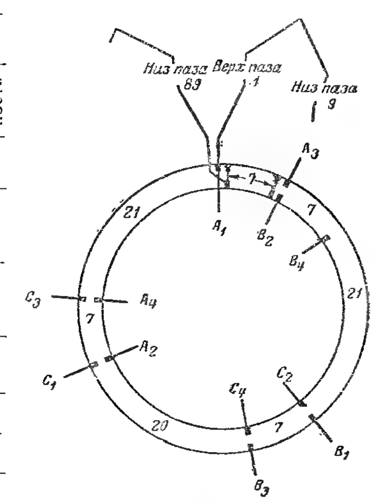



Рис. 8-9. Рабочая схема для 96 пазов, 12 полюсов, ППФ — $2^2/_3$.

Таблица 8-10

**Таблица соединений для 144 пазов, 18 полюсов и ППФ = $2^2/_3$**

($y = 16$; $y_з = 8$; $y_n = 8$; $a = 0$; $d = 3$) (см. рабочую схему на рис. 8-10)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А | | | | Фаза В | | | | Фаза С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 24 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=91$ | ↓ | ↑ | $B_1=54$ | $B_2=144$ | ↓ | ↑ | $C_1=99$ | $C_2=46$ | ↓ |
| | 24 | ↓ | $A_3=9$ | $A_4=99$ | ↑ | ↓ | $B_3=62$ | $B_4=8$ | ↑ | ↓ | $C_3=107$ | $C_4=54$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15 и 16

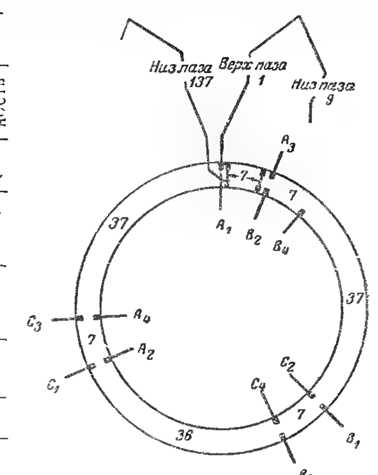



Рис. 8-10. Рабочая схема для 144 пазов, 18 полюсов, ППФ = $2^2/_3$.

Таблица 8-11

**Таблица соединений для 66 пазов, 12 полюсов и ППФ = $1^5/_6$**
($y = 11$; $y_з = 5$; $y_п = 6$; $a = 0$; $d = 6$) (см. рабочую схему на рис. 8-11)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 12 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=62$ | ↓ | ↑ | $B_1=5$ | $B_2=66$ | ↓ | ↑ | $C_1=3$ | $C_2=64$ | ↓ |
| | 10 | ↓ | $A_3=7$ | $A_4=46$ | ↑ | ↓ | $B_3=32$ | $B_4=5$ | ↑ | ↓ | $C_3=52$ | $C_4=26$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |

Удлиненные передние шаги — перед верхними проводниками 2, 4, 6, 8, 9, 10 и 11.

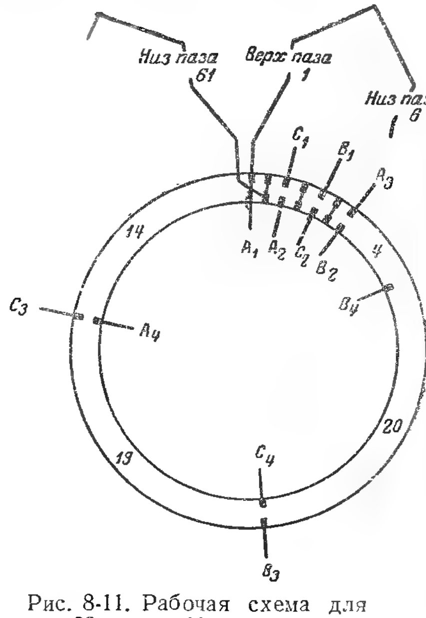



Рис. 8-11. Рабочая схема для 66 пазов, 12 полюсов, ППФ=$1^5/_6$.

Таблица 8-12

**Таблица соединений для 99 пазов, 18 полюсов и ППФ=$1^5/_6$**
($y = 11$; $y_з = 5$; $y_п = 6$; $a = 0$; $d = 6$) (см. рабочую схему на рис. 8-12)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 18 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=95$ | ↓ | ↑ | $B_1=5$ | $B_2=99$ | ↓ | ↑ | $C_1=3$ | $C_2=97$ | ↓ |
| | 15 | ↓ | $A_3=7$ | $A_4=68$ | ↑ | ↓ | $B_3=43$ | $B_4=5$ | ↑ | ↓ | $C_3=74$ | $C_4=37$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками м2, 4, 6, 8, 9, 10 и 11.

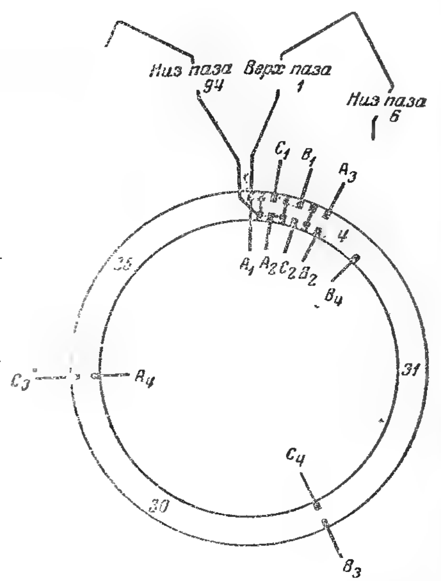



Рис. 8-12. Рабочая схема для 99 пазов, 18 полюсов, ППФ=$1^5/_6$.

Таблица 8-13

**Таблица соединений для 78 пазов, 12 полюсов и ППФ = $2\,^1/_6$**
($y = 13$; $y_3 = 6$; $y_n = 7$; $a = 0$; $d = 6$) (см. рабочую схему на рис. 8-13)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 12 | ↑ | $A_1$=1 | $A_2$=72 | ↓ | ↑ | $B_1$=5 | $B_2$=77 | ↓ | ↑ | $C_1$=3 | $C_2$=75 | ↓ |
| | 14 | ↓ | $A_3$=7 | $A_4$=23 | ↑ | ↓ | $B_3$=63 | $B_4$=6 | ↑ | ↓ | $C_3$=35 | $C_4$=56 | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_1$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |

Удлиненные передние шаги—перед верхними проводниками 2, 4, 6, 8, 10, 11, 12 и 13.

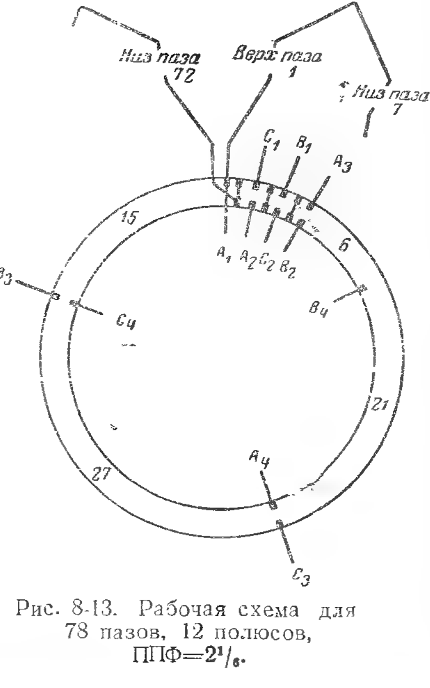



Рис. 8-13. Рабочая схема для 78 пазов, 12 полюсов, ППФ=$2^1/_6$.

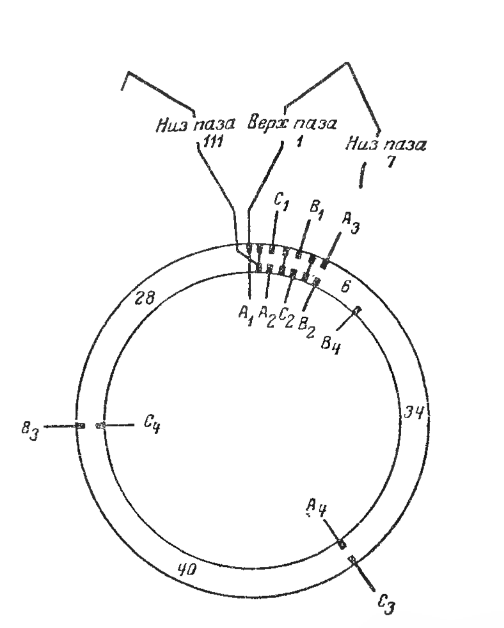



Рис. 8-14. Рабочая схема для 117 пазов, 18 полюсов, ППФ

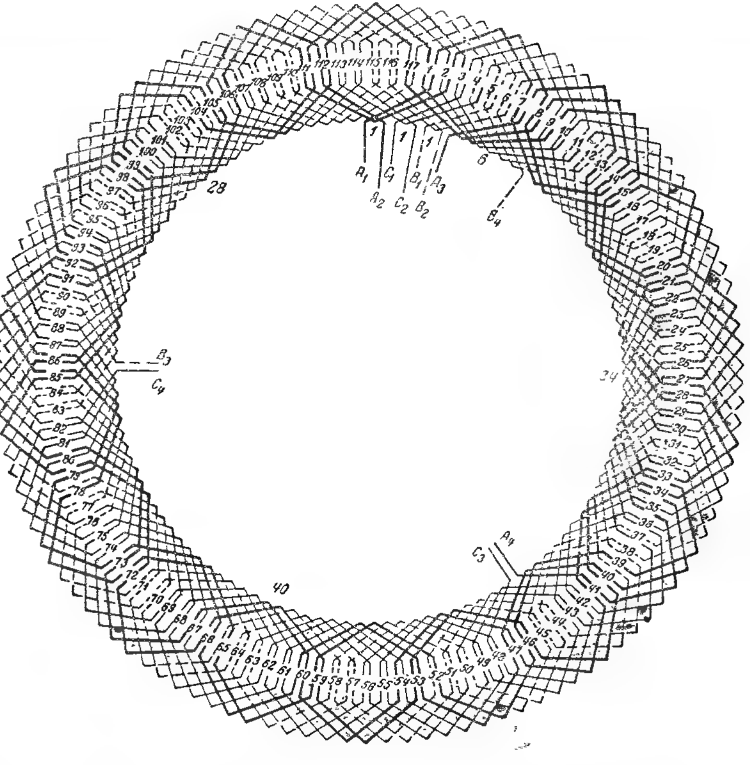



Рис. 8-14а. Полная схема для 117 пазов, 18 полюсов, ППФ-$2^1/_6$.

Таблица 8-14

**Таблица соединений для 117 пазов, 18 полюсов и ППФ = $2^1/_6$**
($y = 13$; $y_з = 6$; $y_п = 7$; $a = 0$; $d = 6$)
(см. рабочую схему на рис. 8-14)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 18 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=112$ | ↓ | ↑ | $B_1=5$ | $B_2=116$ | ↓ | ↑ | $C_1=3$ | $C_2=114$ | ↓ |
| | 21 | ↓ | $A_3=7$ | $A_4=41$ | ↑ | ↓ | $B_3=89$ | $B_4=6$ | ↑ | ↓ | $C_3=48$ | $C_4=82$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |

Удлиненные передние шаги — перед верхними проводниками 2, 4, 6, 8, 10, 11, 12 и 13.

Таблица 8-15

**Таблица соединений для 102 пазов, 12 полюсов и ППФ=$2^5/_6$**
($y = 17$; $y_з = 8$; $y_п = 9$; $a = 0$; $d = 6$) (см. рабочую схему на рис. 8-15)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 18 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=96$ | ↓ | ↑ | $B_1=7$ | $B_2=102$ | ↓ | ↑ | $C_1=4$ | $C_2=99$ | ↓ |
| | 16 | ↓ | $A_3=10$ | $A_4=71$ | ↑ | ↓ | $B_3=49$ | $B_4=8$ | ↑ | ↓ | $C_3=80$ | $C_1=40$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_1$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |

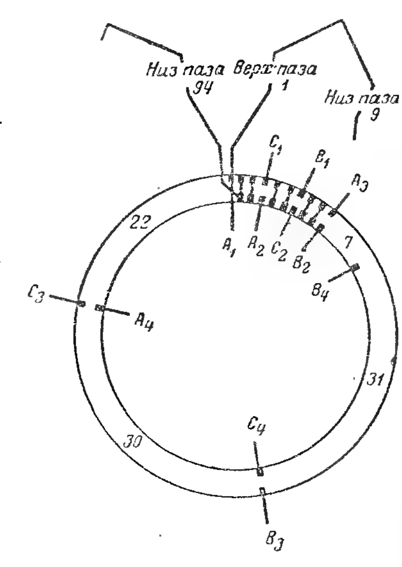



Рис. 8-15. Рабочая схема для 102 пазов, 12 полюсов, ППФ=$2^5/_6$.

Удлиненные передние шаги — перед верхними проводниками 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16 и 17.

Таблица 8-16

**Таблица соединений для 153 пазов, 18 полюсов и ППФ=$2^5/_6$**
($y=17$; $y_з=8$; $y_п=9$; $a=0$; $d=6$) (см. рабочую схему на рис. 8-16)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А | | | | Фаза В | | | | Фаза С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 26 | ↑ | $A_1$—1 | $A_2$=147 | ↓ | ↑ | $B_1$—7 | $B_2$=153 | ↓ | ↑ | $C_1$=4 | $C_2$=150 | ↓ |
| | 25 | ↓ | $A_3$=10 | $A_4$=105 | ↑ | ↓ | $B_3$=66 | $B_4$=8 | ↑ | ↓ | $C_3$=114 | $C_4$=57 | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |

Удлиненные передние шаги — перед верхними проводниками 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16 и 17.

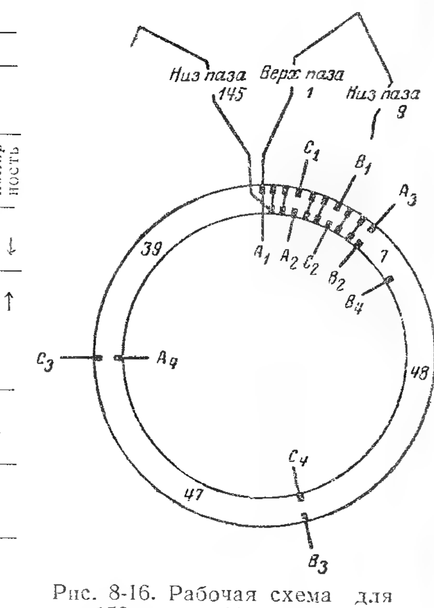



Рис. 8-16. Рабочая схема для 153 пазов, 18 полюсов, ППФ=$2^5/_6$.

Таблица 8-17

**Таблица соединений для 105 пазов, 6 полюсов и ППФ=$5^5/_6$**
($y=35$; $y_з=17$; $y_п=18$; $a=0$; $d=6$) (см. рабочую схему на рис. 8-17)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А | | | | Фаза В | | | | Фаза С | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 18 | ↑ | $A_1$=1 | $A_2$=93 | ↓ | ↑ | $B_1$=13 | $B_2$=105 | ↓ | ↑ | $C_1$=7 | $C_2$=99 | ↓ |
| | 17 | ↓ | $A_3$=19 | $A_4$=76 | ↑ | ↓ | $B_3$=65 | $B_4$=17 | ↑ | ↓ | $C_3$=94 | $C_4$=47 | [illegible] |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |

Удлиненные передние шаги — перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 и 35.

Рис. 8-17. Рабочая схема для 105 пазов, 6 полюсов, ППФ=$5^5/_6$.

Рис. 8-18. Рабочая схема для 210 пазов, 12 полюсов, ППФ=$5^5/_6$.

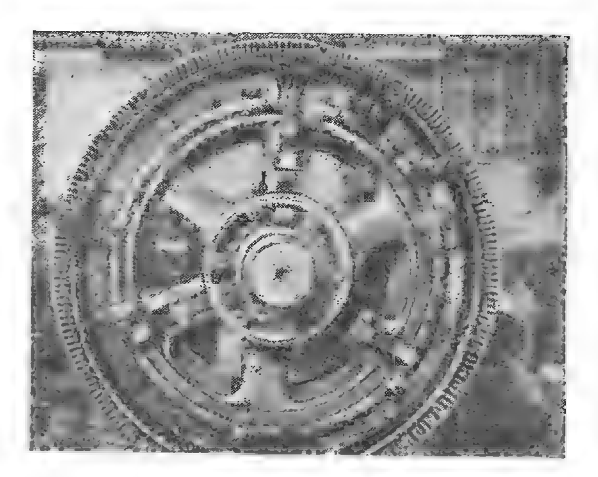


Рис. 8-18а. Вид на соединения 12-полюсной волновой обмотки ротора с 210 пазами, ППФ=$5^5/_6$. Рабочая схема этой обмотки показана на рис. 8-18. Для соединения частей обмотки в единичный треугольник использована табл. 8-18.

Таблица 8-18

**Таблица соединений для 210 пазов, 12 полюсов и ППФ = $5^5/_6$**
**($y = 35$; $y_з = 17$; $y_п = 18$; $a = 0$; $d = 6$) (см. рабочую схему на рис. 8-18)**

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A | | | | Фаза B | | | | Фаза C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность | полярность | начала | концы | полярность |
| 2 | 35 | ↑ | $A_1=1$ | $A_2=198$ | ↓ | ↑ | $B_1=13$ | $B_2=210$ | ↓ | ↑ | $C_1=7$ | $C_2=204$ | ↓ |
| | 35 | ↓ | $A_3=19$ | $A_4=146$ | ↑ | ↓ | $B_3=100$ | $B_4=17$ | ↑ | ↓ | $C_3=164$ | $C_4=82$ | ↑ |

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$ | $A_2 \to A_4$ | $A_3$ | $A_3 \to B_1$ |
| | $B_1$ | $B_2 \to B_4$ | $B_3$ | $B_3 \to C_3$ |
| | $C_3$ | $C_2 \to C_4$ | $C_1$ | $C_1 \to A_1$ |
| 2 | $A_1 \to A_4$ | — | $A_2 \to A_3$ | $A_2 \to A_3 \to B_1 \to B_4$ |
| | $B_1 \to B_4$ | — | $B_2 \to B_3$ | $B_2 \to B_3 \to C_2 \to C_3$ |
| | $C_2 \to C_3$ | — | $C_1 \to C_4$ | $C_1 \to C_4 \to A_1 \to A_4$ |

Удлиненные передние шаги — перед верхними проводниками 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 и 35.

Таблица 8-19

**Таблица соединений для 96 пазов, 18 полюсов и ППФ = $1^7/_9$**
**($y = 11$; $y_з = 5$; $y_п = 6$; $a = +3$; $d = 9$)**
(см. рабочую схему на рис. 8-19)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза А: Верхние выводы, полярность | Фаза А: Верхние выводы, начала | Фаза А: Нижние выводы, концы | Фаза А: Нижние выводы, полярность | Число катушек на часть | Фаза В: Верхние выводы, полярность | Фаза В: Верхние выводы, начала | Фаза В: Нижние выводы, концы | Фаза В: Нижние выводы, полярность | Число катушек на часть | Фаза С: Верхние выводы, полярность | Фаза С: Верхние выводы, начала | Фаза С: Нижние выводы, концы | Фаза С: Нижние выводы, полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 6 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=61$ | ↓ | 5 | ↑ | $B1_1=26$ | $B1_2=75$ | ↓ | 5 | ↑ | $C1_1=67$ | $C1_2=20$ | ↓ |
| | 5 | ↓ | $A2_1=17$ | $A2_2=66$ | ↑ | 5 | ↓ | $B2_1=42$ | $B2_2=91$ | ↑ | 6 | ↓ | $C2_1=72$ | $C2_2=36$ | ↑ |
| | 5 | ↑ | $A3_1=33$ | $A3_2=82$ | ↓ | 6 | ↑ | $B3_1=47$ | $B3_2=11$ | ↓ | 5 | ↑ | $C3_1=88$ | $C3_2=41$ | ↓ |
| | 6 | ↓ | $A1_3=49$ | $A1_4=13$ | ↑ | 5 | ↓ | $B1_3=74$ | $B1_4=27$ | ↑ | 5 | ↓ | $C1_3=19$ | $C1_4=68$ | ↑ |
| | 5 | ↑ | $A2_3=65$ | $A2_4=18$ | ↓ | 5 | ↑ | $B2_3=90$ | $B2_4=43$ | ↓ | 6 | ↑ | $C2_3=24$ | $C2_4=84$ | ↓ |
| | 5 | ↓ | $A3_3=81$ | $A3_4=34$ | ↑ | 6 | ↓ | $B3_3=95$ | $B3_4=59$ | ↑ | 5 | ↓ | $C3_3=40$ | $C3_4=89$ | ↑ |

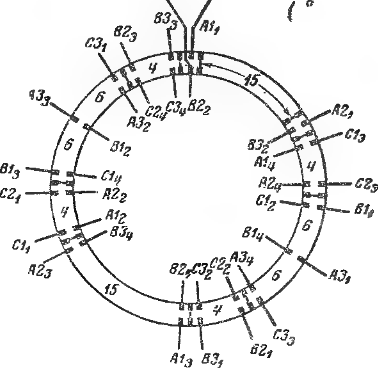



Рис. 8-19. Рабочая схема для 96 пазов, 18 полюсов, ППФ=$1^7/_9$

*Продолжение табл. 8-19*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к концам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ $A2_1 \to A3_1$ $A3_2 \to A3_4$ $A3_3 \to A2_3$ $A2_4 \to A1_4$ | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ $B2_1 \to B3_1$ $B3_2 \to B3_4$ $B3_3 \to B2_3$ $B2_4 \to B1_4$ | $B1_3$ | $B1_3 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C3_1$ $C3_2 \to C3_4$ $C3_3 \to C2_3$ $C2_4 \to C1_4$ | $C1_1$ | $C1_1 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A3_4$ | $A1_2 \to A2_2$ $A2_1 \to A3_1$ $A3_3 \to A2_3$ $A2_4 \to A1_4$ | $A1_3 \to A3_2$ | $A1_3 \to A3_2 \to B1_1 \to B3_4$ |
| | $B1_1 \to B3_4$ | $B1_2 \to B2_2$ $B2_1 \to B3_1$ $B3_3 \to B2_3$ $B2_4 \to B1_4$ | $B1_3 \to B3_2$ | $B1_3 \to B3_2 \to C1_3 \to C3_2$ |
| | $C1_3 \to C3_2$ | $C1_2 \to C2_2$ $C2_1 \to C3_1$ $C3_2 \to C3_4$ $C3_3 \to C2_3$ | $C1_1 \to C3_4$ | $C1_1 \to C3_4 \to A1_1 \to A3_4$ |

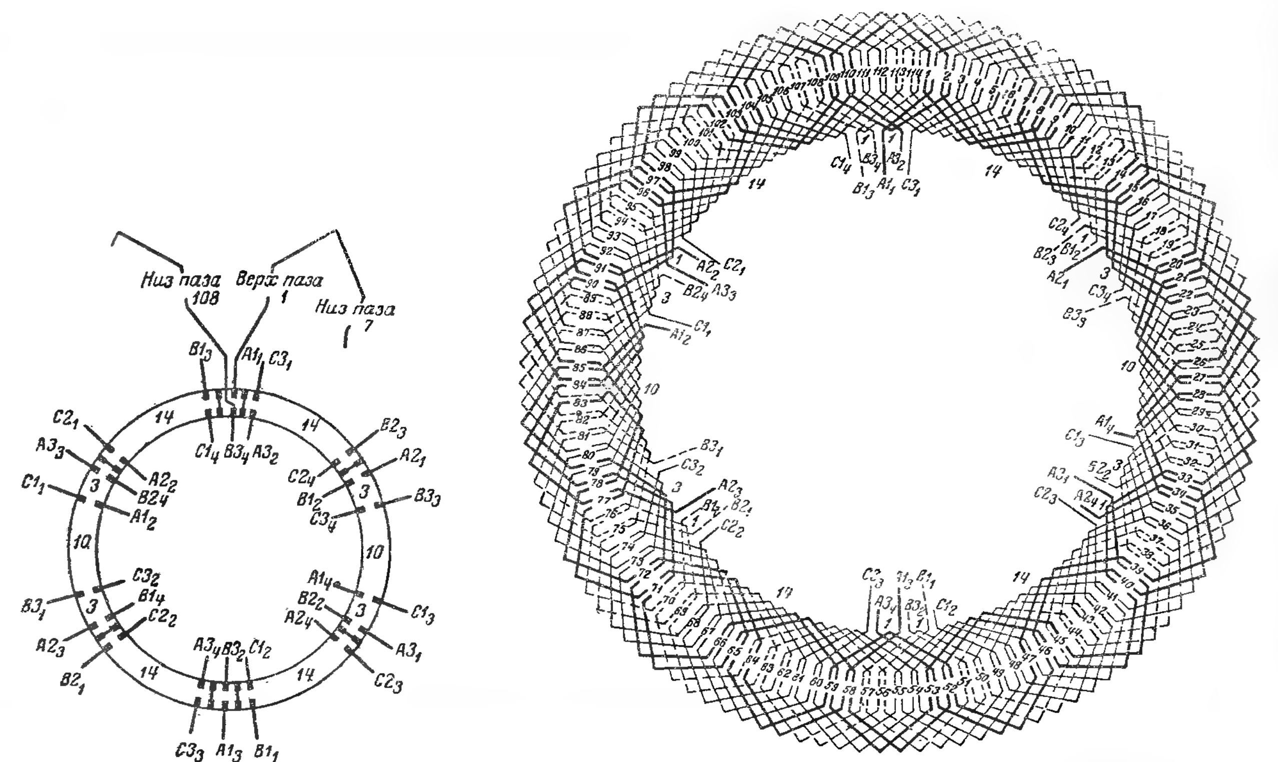



Рис. 8-20. Рабочая схема для 114 пазов, 18 полюсов, ППФ=$2^1/_9$.

Рис. 8-20а. Полная схема для 114 пазов, 18 полюсов, ППФ=$2^1/_9$.

Таблица 8-20

**Таблица соединений для 114 пазов, 18 полюсов и ППФ = $2^1/_9$**

($y = 13$; $y_з = 6$; $y_п = 7$; $a = +3$; $d = 9$)

(см. рабочую схему на рис. 8-20)

| Число частей на фазу | Фаза А | | | | | | Фаза Б | | | | | | Фаза С | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Число катушек на часть | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Число катушек на часть | Верхние выводы | | Нижние выводы | | Число катушек на часть | Верхние выводы | | Нижние выводы | |
| | | полярность | начала | концы | полярность | | полярность | начала | концы | полярность | | полярность | начала | концы | полярность |
| 6 | 7 | ↑ | $A1_1$=1 | $A1_2$= 85 | ↓ | 6 | ↑ | $B1_1$= 56 | $B1_2$= 13 | ↓ | 6 | ↑ | $C1_1$=92 | $C1_2$= 49 | ↓ |
| | 6 | ↓ | $A2_1$=20 | $A2_2$= 91 | ↑ | 6 | ↓ | $B2_1$= 75 | $B2_2$= 32 | ↑ | 7 | ↓ | $C2_1$=98 | $C2_2$= 68 | ↑ |
| | 6 | ↑ | $A3_1$=39 | $A3_2$=110 | ↓ | 7 | ↑ | $B3_1$= 81 | $B3_2$= 51 | ↓ | 6 | ↑ | $C3_1$=3 | $C3_2$= 74 | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A1_3$=58 | $A1_4$= 23 | ↑ | 6 | ↓ | $B1_3$=113 | $B1_4$= 70 | ↑ | 6 | ↓ | $C1_3$=35 | $C1_4$=106 | ↑ |
| | 6 | ↑ | $A2_3$=77 | $A2_4$= 34 | ↓ | 6 | ↑ | $B2_3$= 18 | $B2_4$= 89 | ↓ | 7 | ↑ | $C2_3$=41 | $C2_4$= 11 | ↓ |
| | 6 | ↓ | $A3_3$=96 | $A3_4$= 53 | ↑ | 7 | ↓ | $B3_3$= 24 | $B3_4$=103 | ↑ | 6 | ↓ | $C3_3$=60 | $C3_4$= 17 | ↑ |

*Продолжение табл. 8-20*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | | | | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$<br>$A3_3 \to A2_3$ | $A2_1 \to A3_1$<br>$A2_4 \to A1_4$ | $A3_2 \to A3_4$ | | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$<br>$B3_3 \to B2_3$ | $B2_1 \to B3_1$<br>$B2_4 \to B1_4$ | $B3_2 \to B3_4$ | | $B1_3$ | $B1_3 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$<br>$C3_2 \to C2_3$ | $C2_1 \to C3_1$<br>$C2_4 \to C1_4$ | $C3_2 \to C3_4$ | | $C1_1$ | $C1_1 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A3_4$ | $A1_2 \to A2_2$ | $A2_1 \to A3_1$ | $A3_3 \to A2_3$ | $A2_4 \to A1_4$ | $A1_3 \to A3_2$ | $A1_3 \to A3_2 \to B1_1 \to B3_4$ |
| | $B1_1 \to B3_4$ | $B1_2 \to B2_2$ | $B2_1 \to B3_1$ | $B3_3 \to B2_3$ | $B2_4 \to B1_4$ | $B1_3 \to B3_2$ | $B1_3 \to B3_2 \to C1_3 \to C3_2$ |
| | $C1_3 \to C3_2$ | $C1_2 \to C2_2$ | $C2_1 \to C3_1$ | $C3_3 \to C2_3$ | $C2_4 \to C1_4$ | $C1_1 \to C3_4$ | $C1_1 \to C3_4 \to A1_1 \to A3_4$ |

Таблица 8-21

**Таблица соединений для 132 пазов, 18 полюсов и ППФ = $2^4/_9$**

($y = 15$; $y_з = 7$; $y_п = 8$; $a = +3$; $d = 9$)

(см. рабочую схему на рис. 8-21)

| Число частей на фазу | Фаза А: Число катушек на часть | Фаза А: Верхние выводы: полярность | Фаза А: Верхние выводы: начала | Фаза А: Нижние выводы: концы | Фаза А: Нижние выводы: полярность | Фаза В: Число катушек на часть | Фаза В: Верхние выводы: полярность | Фаза В: Верхние выводы: начала | Фаза В: Нижние выводы: концы | Фаза В: Нижние выводы: полярность | Фаза С: Число катушек на часть | Фаза С: Верхние выводы: полярность | Фаза С: Верхние выводы: начала | Фаза С: Нижние выводы: концы | Фаза С: Нижние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 8 | ↑ | $A1_1$—1 | $A1_2$=113 | ↓ | 7 | ↑ | $B1_1$=9 | $B1_2$—59 | ↓ | 7 | ↑ | $C1_1$=121 | $C1_2$=86 | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A2_1$—23 | $A2_2$=120 | ↑ | 7 | ↓ | $B2_1$—116 | | ↑ | 8 | ↓ | $C2_1$=128 | $C2_2$=108 | ↑ |
| | 7 | ↑ | $A3_1$—45 | $A3_2$=10 | ↓ | 8 | ↑ | B $_1$—123 | $B3_2$=103 | ↓ | 7 | ↑ | $C3_1$=18 | $C3_2$—115 | ↓ |
| | 8 | ↓ | $A1_3$=67 | $A1_4$=47 | ↑ | 7 | ↓ | $B1_3$=28 | $B1_4$=125 | ↑ | 7 | ↓ | $1_3$—55 | $C1_4$=20 | ↑ |
| | 7 | ↑ | $A2_3$=89 | $A2_4$=54 | ↓ | 7 | ↑ | $B2_3$=50 | $B2_4$=15 | ↓ | 8 | ↑ | $C2_3$—62 | $C2_4$—42 | ↓ |
| | 7 | ↓ | $A3_3$=111 | $A3_4$—76 | ↑ | 8 | ↓ | $B3_3$=57 | $B3_4$=37 | ↑ | 7 | ↓ | $C3_3$=34 | $C3_4$=49 | ↑ |

Рис. 8-21. Рабочая схема для 132 пазов, 18 полюсов, ППФ—$2^4/_9$.

*Продолжение табл. 8-21*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|
| 1 | A1$_1$ | A1$_2$→A2$_2$ A2$_1$→A3$_1$ A3$_2$→A3$_4$ A3$_3$→A2$_3$ A2$_4$→A1$_4$ | A1$_3$ | A1$_3$→B1$_1$ |
| | B1$_1$ | B1$_2$→B2$_2$ B2$_1$→B3$_1$ B3$_2$→B3$_4$ B3$_3$→B2$_3$ B2$_4$→B1$_4$ | B1$_3$ | B1$_3$→C1$_3$ |
| | C1$_3$ | C1$_2$→C2$_2$ C$_1$→C3$_1$ C3$_2$→C3$_4$ C3$_3$→C2$_3$ | C1$_1$ | C1$_1$→A1$_1$ |
| 2 | A1$_1$→A3$_4$ | A1$_2$→A2$_2$ A2$_1$→A3$_1$ A3$_3$→A2$_3$ A2$_4$→A1$_4$ | A1$_3$→A3$_2$ | A1$_3$→A3$_2$→B1$_1$→B3$_4$ |
| | B1$_1$→B3$_4$ | B1$_2$→B2$_2$ B2$_1$→B3$_1$ B3$_3$→B2$_3$ B2$_4$→B1$_4$ | B1$_3$→B3$_2$ | B1$_3$→B3$_2$→C1$_3$→C3$_2$ |
| | C1$_3$→C3$_2$ | C1$_2$→C2$_2$ C2$_1$→C3$_1$ C3$_3$→C2$_3$ C2$_4$→C1$_4$ | C1$_1$→C3$_4$ | C1$_1$→C3$_4$→A1$_1$→A3$_1$ |



Таблица 8-22

**Таблица соединений 138 пазов, 18 полюсов и ППФ $= 2^5/_9$**
($y = 15$; $y_з = 7$; $y_п = 8$; $a = -3$; $d = 9$)
(см. рабочую схему на рис. 8-22)

| Число частей на фазу | Фаза A: Число катушек на часть | Фаза A: Нижние выводы: полярность | Фаза A: Нижние выводы: начала | Фаза A: Верхние выводы: концы | Фаза A: Верхние выводы: полярность | Фаза B: Число катушек на часть | Фаза B: Нижние выводы: полярность | Фаза B: Нижние выводы: начала | Фаза B: Верхние выводы: концы | Фаза B: Верхние выводы: полярность | Фаза C: Число катушек на часть | Фаза C: Нижние выводы: полярность | Фаза C: Нижние выводы: начала | Фаза C: Верхние выводы: концы | Фаза C: Верхние выводы: полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 8 | ↑ | A1$_1$=1 | A1$_2$=27 | ↓ | 8 | ↑ | B1$_1$=52 | B1$_2$=78 | ↓ | 7 | ↑ | C1$_1$=19 | C1$_2$=60 | ↓ |
| | 7 | ↓ | A2$_1$=24 | A2$_2$=65 | ↑ | 8 | ↓ | B2$_1$=75 | B2$_2$=101 | ↑ | 8 | ↓ | C2$_1$=57 | C2$_2$=83 | ↑ |
| | 8 | ↑ | A3$_1$=47 | A3$_2$=73 | ↓ | 7 | ↑ | B3$_1$=83 | B3$_2$=124 | ↓ | 8 | ↑ | C3$_1$=65 | C3$_2$=91 | ↓ |
| | 8 | ↓ | A1$_3$=70 | A1$_4$=96 | ↑ | 8 | ↓ | B1$_3$=121 | B1$_4$=9 | ↑ | 7 | ↓ | C1$_3$=88 | C1$_4$=129 | ↑ |
| | 7 | ↑ | A2$_3$=93 | A2$_4$=134 | ↓ | 8 | ↑ | B2$_3$=6 | B2$_4$=32 | ↓ | 8 | ↑ | C2$_3$=126 | C2$_4$=14 | ↓ |
| | 8 | ↓ | A3$_3$=116 | A3$_4$=4 | ↑ | 7 | ↓ | B3$_3$=14 | B3$_4$=55 | ↑ | 8 | ↓ | C3$_3$=134 | C3$_4$=22 | ↑ |

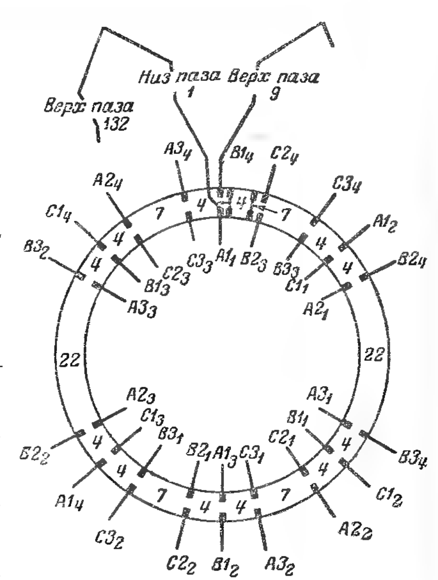



Рис. 8-22. Рабочая схема для 138 пазов, 18 полюсов, ППФ$=2^5/_9$.

*Продолжение табл. 8-22*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | | | | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$ <br> $A3_3 \to A2_3$ | $A2_1 \to A3_1$ <br> $A2_4 \to A1_4$ | $A3_2 \to A3_4$ | | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$ <br> $B3_3 \to B2_3$ | $B2_1 \to B3_1$ <br> $B2_4 \to B1_4$ | $B3_2 \to B3_4$ | | $B1_3$ | $B1_3 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$ <br> $C3_3 \to C2_3$ | $C2_1 \to C3_1$ <br> $C2_4 \to C1_4$ | $C3_2 \to C3_4$ | | $C1_1$ | $C1_1 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A3_4$ | $A1_2 \to A2_2$ | $A2_1 \to A3_1$ | $A3_3 \to A2_3$ | $A2_4 \to A1_4$ | $A1_3 \to A3_2$ | $A1_3 \to A3_2 \to B1_1 \to B3_4$ |
| | $B1_1 \to B3_4$ | $B1_2 \to B2_2$ | $B2_1 \to B3_1$ | $B3_3 \to B2_3$ | $B2_4 \to B1_4$ | $B1_3 \to B3_2$ | $B1_3 \to B3_2 \to C1_3 \to C3_2$ |
| | $C1_3 \to C3_2$ | $C1_2 \to C2_2$ | $C2_1 \to C3_1$ | $C3_3 \to C2_3$ | $C2_4 \to C1_4$ | $C1_1 \to C3_4$ | $C1_1 \to C3_4 \to A1_1 \to A3_4$ |

Таблица 8-23

**Таблица соединений для 150 пазов, 18 полюсов и ППФ $= 2^7/_9$**

($y = 17$; $y_з = 8$; $y_п = 9$; $a = +3$; $d = 9$)
(см. рабочую схему на рис. 8-23)

| Число частей на фазу | Число катушек на часть | Фаза A: верхние выводы, полярность | Фаза A: верхние выводы, начала | Фаза A: нижние выводы, концы | Фаза A: нижние выводы, полярность | Число катушек на часть | Фаза B: верхние выводы, полярность | Фаза B: верхние выводы, начала | Фаза B: нижние выводы, концы | Фаза B: нижние выводы, полярность | Число катушек на часть | Фаза C: верхние выводы, полярность | Фаза C: верхние выводы, начала | Фаза C: нижние выводы, концы | Фаза C: нижние выводы, полярность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 9 | ↑ | $A1_1=1$ | $A1_2=145$ | ↓ | 8 | ↑ | $B1_1=140$ | $B1_2=117$ | ↓ | 8 | ↑ | $C1_1=4$ | $C1_2=131$ | ↓ |
| | 8 | ↓ | $A2_1=26$ | $A2_2=3$ | ↑ | 8 | ↓ | $B2_1-15$ | $B2_2=142$ | ↑ | 9 | ↓ | $C2_1=12$ | $C2_2=6$ | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A3_1=51$ | $A3_2=23$ | ↓ | 9 | ↑ | $B3_1=23$ | $B3_2-17$ | ↓ | 8 | ↑ | $C3_1=37$ | $C3_2=14$ | ↓ |
| | 9 | ↓ | $A1_3=76$ | $A1_4=70$ | ↑ | 8 | ↓ | $B1_3=65$ | $B1_4=42$ | ↑ | 8 | ↓ | $C1_3=79$ | $C1_4=56$ | ↑ |
| | 8 | ↑ | $A2_3=101$ | $A2_4=78$ | ↓ | 8 | ↑ | $B2_3=90$ | $B2_4-67$ | ↓ | 9 | ↑ | $C2_3=87$ | $C2_4=81$ | ↓ |
| | 8 | ↓ | $A3_3=126$ | $A3_4-103$ | ↑ | 9 | ↓ | $B3_3=98$ | $B3_4=92$ | ↑ | 8 | ↓ | $C3_3=112$ | $C3_4=89$ | ↑ |

Рис. 8-23. Рабочая схема для 150 пазов, 18 полюсов, ППФ$=2^7/_9$.

*Продолжение табл. 8-23*

**Соединения частей**

| Число параллельных ветвей | Присоединить к кольцам | Поворотные соединения (перемычки) | | | | Соединение звездой | Соединение треугольником |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $A1_1$ | $A1_2 \to A2_2$<br>$A3_3 \to A2_3$ | $A2_1 \to A3_1$<br>$A2_4 \to A1_4$ | $A3_2 \to A3_4$ | | $A1_3$ | $A1_3 \to B1_1$ |
| | $B1_1$ | $B1_2 \to B2_2$<br>$B3_3 \to B2_3$ | $B2_1 \to B3_1$<br>$B2_4 \to B1_4$ | $B3_2 \to B3_4$ | | $B1_3$ | $B1_3 \to C1_3$ |
| | $C1_3$ | $C1_2 \to C2_2$<br>$C3_3 \to C2_3$ | $C2_1 \to C3_1$<br>$C2_4 \to C1_4$ | $C3_2 \to C3_4$ | | $C1_1$ | $C1_1 \to A1_1$ |
| 2 | $A1_1 \to A3_4$ | $A1_2 \to A2_2$ | $A2_1 \to A3_1$ | $A3_3 \to A2_3$ | $A2_4 \to A1_1$ | $A1_3 \to A3_2$ | $A1_3 \to A3_2 \to B1_1 \to B3_4$ |
| | $B1_1 \to B3_4$ | $B1_2 \to B2_2$ | $B2_1 \to B3_1$ | $B3_3 \to B2_3$ | $B2_4 \to B1_4$ | $B1_3 \to B3_2$ | $B1_3 \to B3_2 \to C1_3 \to C3_2$ |
| | $C1_3 \to C3_2$ | $C1_2 \to C2_2$ | $C2_1 \to C3_1$ | $C3_3 \to C2_3$ | $C2_4 \to C1_4$ | $C1_1 \to C3_4$ | $C1_1 \to C3_4 \to A1_1 \to A3_4$ |

Таблица 8-21

**Для определения шага обмотки и величины $a$ для различных значений дробной части ППФ**

| Дробная часть ППФ $= \frac{c}{d}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{6}$ | $\frac{5}{6}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{2}{9}$ | $\frac{4}{9}$ | $\frac{5}{9}$ | $\frac{7}{9}$ | $\frac{8}{9}$ | $\frac{1}{12}$ | $\frac{5}{12}$ | $\frac{7}{12}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{6c+a}{d}$ | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 3 | 3 | 5 | 5 | 0 | 2 | 4 |
| $a$ | 0 | 0 | 0 | 0 | +3 | −3 | +3 | −3 | +3 | −3 | −6 | −6 | +6 |

Таблица 8-25

**Рабочие схемы и таблицы соединений приведены для следующих чисел полюсов и пазов**

| Число пазов | 42 | 48 | 66 | 78 | 84 | 96 | 96 | 96 | 99 | 102 | 105 | 114 | 117 | 120 | 126 | 132 | 138 | 144 | 150 | 153 | 192 | 210 | 240 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число полюсов | Рабочие схемы и таблицы соединений | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 8-1 | 8-8 | | | | 8-6 | | | | | 8-17 | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | 8-11 | 8-13 | 8-2 | | 8-9 | | | 8-15 | | | | 8-4 | | | | | | | 8-7 | 8-18 | |
| 18 | | | | | | | | 8-19 | 8-12 | | | 8-20 | 8-14 | | 8-3 | 8-21 | 8-22 | 8-10 | 8-23 | 8-16 | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8-5 |

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

# МНОГОФАЗНЫЕ ОБМОТКИ ДЛЯ ДВУХ И БОЛЕЕ СКОРОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ

Если желательно иметь двигатель, который может работать с 2 или более скоростями вращения при питании его от источника энергии постоянной частоты, то его статор снабжается 1 специальной или несколькими обмотками, позволяющими изменять число полюсов [см. уравнение (1-1)]. Для того чтобы избежать при этом большого числа контактных колец, ротор нормально выполняется с короткозамкнутой обмоткой в виде беличьей клетки. Рассмотрим несколько случаев.

**9-1. Две скорости при отношении их 2 : 1.** Если желательно иметь 2 синхронные скорости при отношении их 2 : 1, то числа полюсов должны находиться в отношении 1 : 2. Например, если необходимы скорости 1 500 и 750 *об/мин*, то обмотка должна создавать числа полюсов 4 и 8, или, если необходимы скорости 500 и 250 *об/мин*, то обмотка должна создавать числа полюсов 12 и 24 и т. д. Отношение чисел полюсов 1 : 2 может быть получено при 1 обмотке, называемой полюсно-переключаемой.

По отношению к меньшему числу полюсов, т. е. по отношению к высшей скорости, эта обмотка является петлевой обмоткой, соединенной от верхнего к нижнему длинными междугрупповыми соединениями (см. § 3-3 и рис. 3-31). Отдельно соединенные между собой полюсно-фазные группы под северными и южными полюсами образуют 2 части обмотки, каждая из которых состоит из $\frac{(\text{число полюсов}}{2}$ полюсно-фазных групп [см. уравнение (1-4)]. Ширина катушки этой обмотки невелика; она должна быть возможно ближе к половине полюсного деления.

Удвоенное число полюсов получается при изменении направления тока в одной из 2 частей каждой фазы путем переключения частей. Полюсное деление будет равно половине полюсного деления обмотки с меньшим числом полюсов. Так как полюсно-фазная группа занимает $^1/_3$ полюсного деления последней или обмотки на высшую скорость, то она будет занимать $^2/_3$ полюсного деления обмотки с бо́льшим числом полюсов или обмотки на низшую скорость. Таким образом, получаются 3 полюсно-фазные группы на 2 полюса при большем числе полюсов (3-зонная обмотка) и 6 полюсно-фазных групп на 2 полюса при меньшем числе полюсов (6-зонная обмотка). Далее, ширина катушки (шаг обмотки) близка к полному полюсному делению обмотки с бо́льшим числом полюсов, так как она близка к половине полюсного деления обмотки с меньшим числом полюсов.

Рассмотрим, например, трехфазную обмотку для 4 и 8 полюсов при 72 пазах. Полное число полюсно-фазных групп этой обмотки равно $4 \times 3 = 12$. Каждая полюсно-фазная группа состоит из $72/12 = 6$ единичных катушек, и ширина катушки равна $(3 \times 6)/2 = 9$ пазовым делениям $(1 \rightarrow 10)$. Рис. 9-1 показывает 12 полюсно-фазных групп и фазы, к которым они относятся. Рассмотрим фазу *A*. Из 4 полюсно-фазных групп этой фазы *1*, *4*, *7* и *10* полюсно-фазные группы *1* и *7*, лежащие под полюсами одной и той же полярности, соединяются последовательно, так же соединяются последовательно полюсно-фазные группы *4* и *10*, лежащие под полюсами противоположных полярностей. Выполнив аналогичные соединения для других групп, получим по 2 части обмотки в каждой фазе. Рис. 9-2а показывает соединение этой обмотки в звезду при 2 параллельных ветвях; при этом получаем 4 полюса, так как соединение (рис. 9-1) будет обычным для 4-полюсной обмотки (см. гл. 3). В фазе *A* ток в полюсно-фазных группах *1* и *7*, а также *10* и *4* имеет направление соответственно от *1* к *7* и от *10* к *4*.

Большее число полюсов (8) может быть получено соединением 12 полюсно-фазных групп в единичный треугольник, как показано на рис. 9-2б. По сравнению с рис. 9-2а ток изменяет свое направление в полюсно-фазных группах *4* и *10*, *6* и *12*, *2* и *8*. Такое соединение дает 8 полюсов.

Соединения двойная звезда — единичный треугольник, показанные на рис. 9-2а и 9-2б, применяются для изменения числа полюсов двигателя при постоянном вращаю-

щем моменте, т. е. при моменте, который остается одним и тем же при обеих скоростях вращения, например, когда двигатель служит для привода к воздушному компрессору. Мощности таких двигателей изменяются пропорционально скорости, т. е. в отношении 2 : 1. Для двигателя с переменным моментом, т. е. в случае, когда момент должен увеличиваться с увеличением скорости, для изменения числа полюсов используются соединения двойная звезда — единичная звезда. Как пример можно указать на привод к вентилятору, для которого мощность при выс-

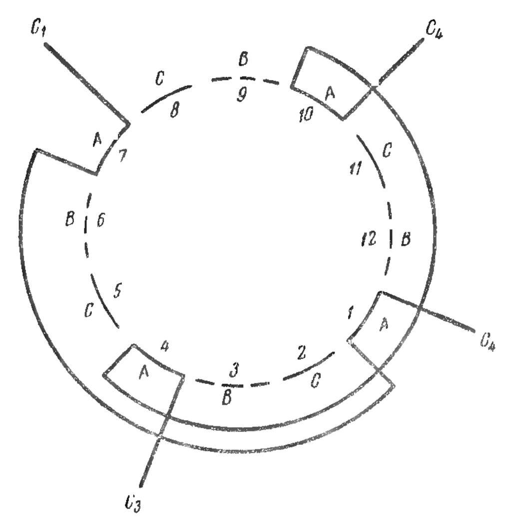



Рис. 9-1. Полюсно-фазные группы обмотки на 4/8 полюсов. Соединения „от верхнего к нижнему". Каждая фаза имеет 2 части. Показана только фаза А.

шей скорости должна быть примерно в 3 раза больше мощности при низшей скорости. С другой стороны, для двигателя с постоянной мощностью, когда мощность должна оставаться одной и той же при обеих скоростях вращения, для изменения числа полюсов используются соединения единичный треугольник — двойная звезда. Как пример можно указать на привод к сверлильным станкам.

Три типа соединений, применяемых для 2-скоростных двигателей при отношении их скоростей 2 : 1, показаны в первой строке табл. 9-1 и на рис. 9-4—9-19. Следует



отметить, что в каждом из соединений число звезд или треугольников может быть удвоено, утроено и т. д. Так, например, для постоянного момента можно использовать 4 параллельные звезды — 2 параллельных треугольника вместо двойной звезды — единичного треугольника. Такое соединение показано на рис. 9-19.

В табл. 9-2 указывается, какие схемы соединений приведены в данной главе для отношения скоростей 2 : 1.

**9-2. Две скорости при отношении их, отличающемся от** 2 : 1. Если требуются 2 синхронные скорости при отношении их, отличающемся от 2 : 1, например при отношении 2 : 3, 3 : 4 и т. д., то используются 2 отдельные обмотки. Для небольших двигателей 2 нормальные 2-слойные обмотки укладываются в 4 слоя, но для больших двигателей обе обмотки укладываются таким образом, чтобы получилось 2 слоя как для пазовых частей, так и для лобовых частей. Обмотки получаются как бы встроенными одна в другую (рис. 9-3). Катушки, обозначенные через *A*, принадлежат одной обмотке; катушки, обозначенные через *B*, принадлежат другой обмотке. Две катушечные стороны в каждом пазу принадлежат обеим обмоткам, по одной для каждой. Одновременно используется только половина катушек. Соединения для обеих обмоток делаются на противоположных сторонах двигателя. Полное число пазов должно быть четным.

Катушечные стороны обеих обмоток должны иметь приблизительно одинаковую толщину; ширина всех катушек должна быть точно одинаковой. Так как верхние катушечные стороны обмотки *A* лежат в нечетных пазах, а такие же стороны обмотки *B*—в четных пазах, то ширина катушки (шаг обмотки) должна быть равна нечетному числу пазовых делений, чтобы катушечные стороны обеих обмоток лежали в каждом пазу. Ширина катушки обычно меньше полюсного деления обмотки с меньшим числом полюсов и больше полюсного деления обмотки с бо́льшим числом полюсов. Рассмотрим два примера.

а) Отношение скоростей 3 : 2, т. е. отношение чисел полюсов 2 : 3. Числа полюсов 8 и 12, число пазов 144. Полюсное деление 8-полюсной обмотки равно 144/8 = 18 пазовым делениям, а для 12-полюсной обмотки 144/12 = 12 пазовым делениям. Шаг обмотки может быть выбран равным 13 пазовым делениям (*1→14*); при этом ширина катушки равна $(13/18)\times100=72{,}2\%$ полюсного деления 8-полюсной обмотки и $(13/12)\times100=108{,}2\%$ полюсного деления 12-полюсной обмотки.

б) Отношение скоростей 7 : 5, т. е. отношение чисел полюсов 5 : 7. Числа полюсов 10 и 14, число пазов 168. Полюсное деление 10-полюсной обмотки равно 168/10 = $16^4/_5$ пазового деления, а для 14-полюсной обмотки 168/14 = 12 пазовым делениям. Шаг обмотки может быть выбран равным 13 пазовым делениям (*1→14*); при этом ширина катушки равна (13/16,8) × 100 = 77,4% полюсного деления 10-полюсной обмотки и (13/12) × 100 = 108,2% полюсного деления 14-полюсной обмотки.

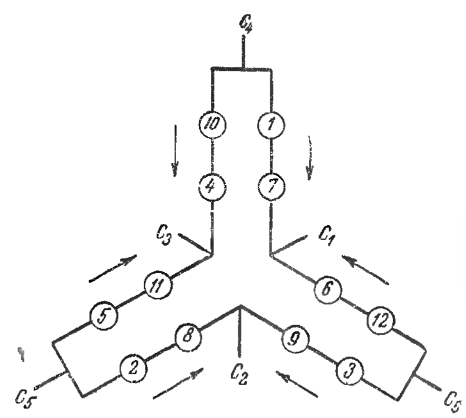



Рис. 9-2а. Схема соединений групп обмотки с отношением чисел полюсов 4/8 (см. рис. 9-1). Соединение в 2Y для высшей скорости (4 полюса).

Соединение для 4 полюсов. К сети присоединить $C_4$, $C_5$, $C_6$, $C_1$, $C_2$, $C_3$ соединить между собой.

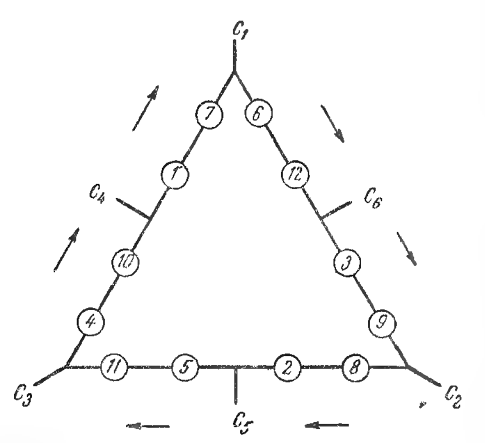



Рис. 9-2*б*. Схема соединений групп обмотки с отношением чисел полюсов 4/8 (см. рис. 9-1). Соединение в единичный треугольник для низшей скорости (8 полюсов).

Соединения для 8 полюсов. К сети присоединить $C_1$, $C_2$, $C_3$. $C_4$, $C_5$, $C_6$ разомкнуты.

Встроенные одна в другую обмотки (при 2-слойной укладке) могут быть с целым или дробным числом пазов на полюс и фазу. Так как только одна из обмоток присоединяется к сети, то обмотка, не работающая, не должна иметь токов: если она соединена треугольником, то в одной из его вершин она должна быть разомкнута; если она соединена параллельно (звезда или треугольник), то должны быть разомкнуты параллельные ветви в каждой фазе.

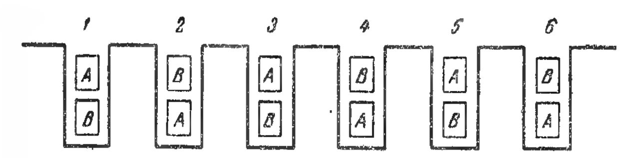



Рис. 9-3. Размещение 2 обмоток в 2 слоя для двух скоростей вращения с отношением их, отличающимся от 2/1.

Это даст возможность избежать нежелательных токов в обмотке. Поэтому в большинстве случаев обе обмотки проектируются для последовательного соединения в звезду или треугольник; треугольник во всех случаях должен быть разомкнут, если он не используется. Соответствующие указания приведены во второй строке табл. 9-1.

**9-3. Три скорости, две из которых имеют отношение 2 : 1.** Если требуются три синхронные скорости, 2 из которых имеют отношение 2 : 1, то могут быть использованы 2 встроенные одна в другую обмотки, рассмотренные в § 9-2. При этом обмотка с отношением скоростей 2 : 1 должна быть выполнена с соединением между полюсно-фазными группами «от верхнего к нижнему» посредством длинных междугрупповых соединений, как указывалось в § 9-1, а соединения частей обмотки должны соответствовать применению двигателя при данных скоростях вращения при постоянной мощности или постоянном или переменном моменте; другая обмотка может быть выполнена с нормальными соединениями («от верхнего к верхнему» или «от нижнего к нижнему»). Замечания, сделанные в § 9-2 в отношении возможности протекания токов в не работающей обмотке 2-обмоточного двигателя, применимы и здесь. Соединения для этого случая показаны в третьей строке табл. 9-1.

Наиболее часто встречающиеся отношения чисел полюсов 4/6/8, 6/8/12, 8/12/16 и 12/16/24.

**9-4. Четыре скорости, 2 из которых имеют отношение 2 : 1.** Если требуются 4 синхронные скорости, 2 из которых имеют отношение 2 : 1, то используются две различные обмотки. Возможны 2 различных способа получения 4 скоростей.

1) Обмотки типа, рассмотренного в § 9-1, размещаются в 4 слоя; при этом верхние 2 слоя принадлежат одной обмотке и нижние 2 слоя — другой обмотке.

2) Используются обмотки типа, рассмотренного в § 9-2; каждая обмотка наматывается через 1 паз, и обе обмотки соединяются длинными междугрупповыми соединениями от верхнего к нижнему. Типичный пример отношения чисел полюсов 6/8/12/16. Соединения для 4-скоростных обмоток при различных применениях показаны в четвертой строке табл. 9-1.

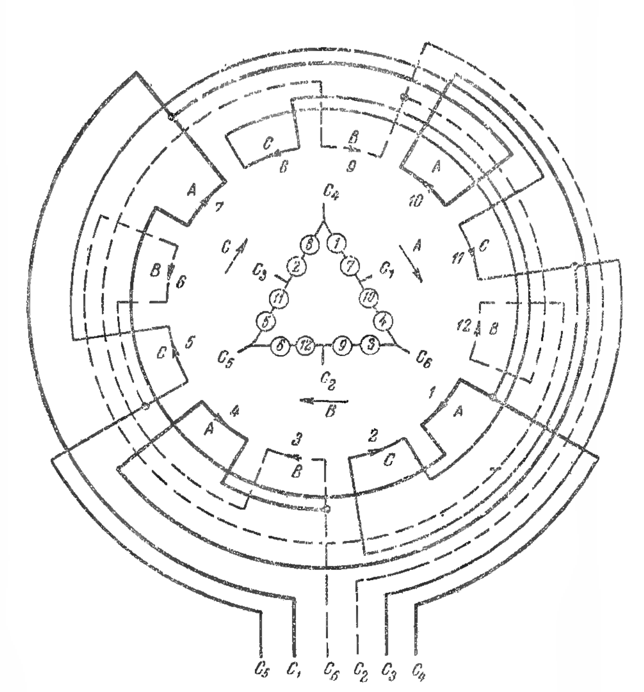



Рис. 9-4. Схема соединений при отношении чисел полюсов 4/8. Для постоянной мощности.



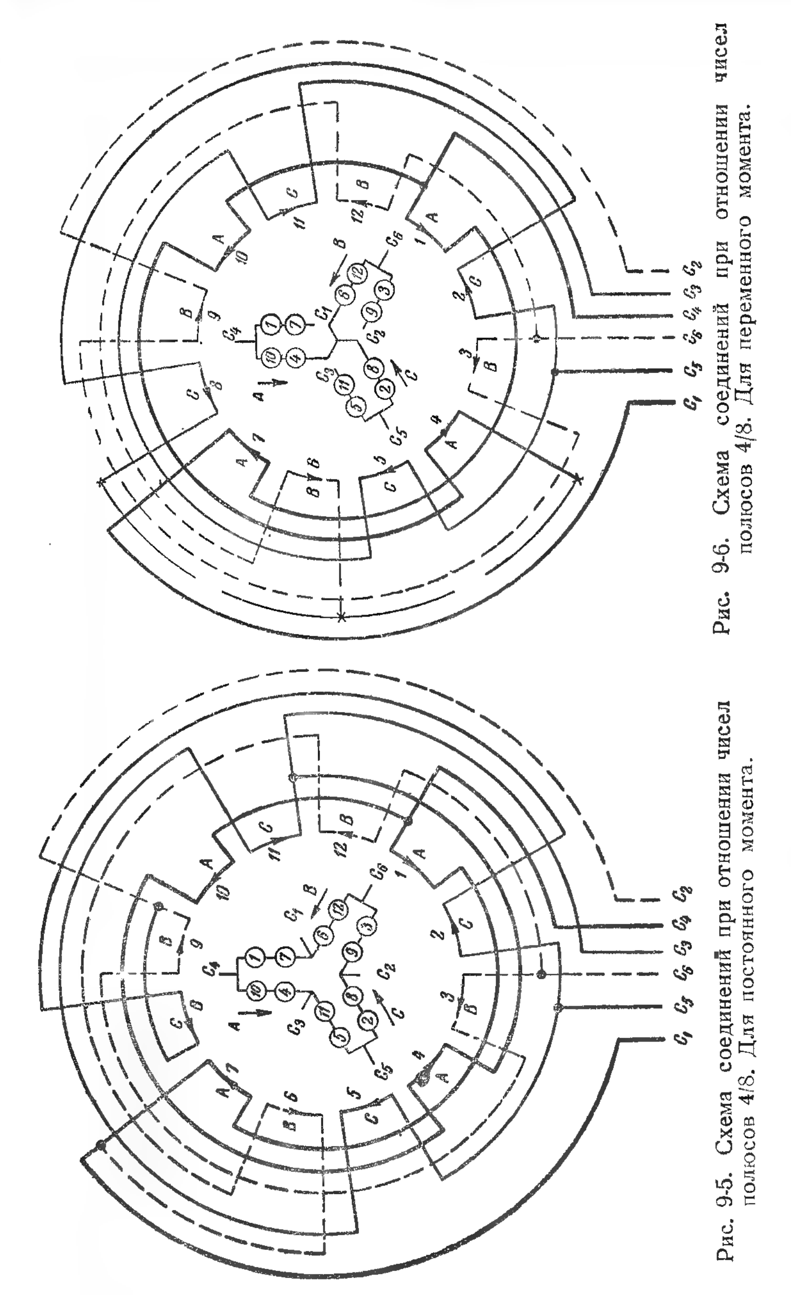



Рис. 9-6. Схема соединений при отношении чисел полюсов 4/8. Для переменного момента.

Рис. 9-5. Схема соединений при отношении чисел полюсов 4/8. Для постоянного момента.

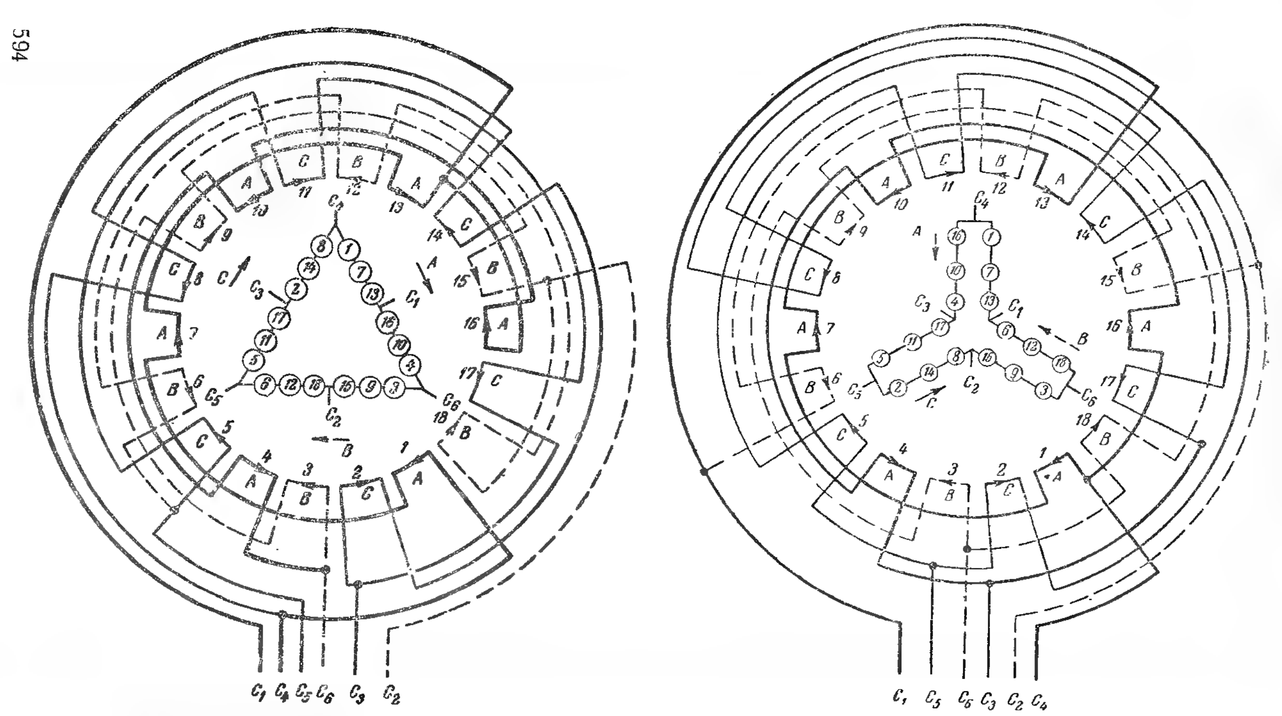


Рис. 9-7. Схема соединений при отношении чисел полюсов 6/12. Для постоянной мощности.

Рис. 9-8. Схема соединений при отношении чисел полюсов 6/12. Для постоянного момента.

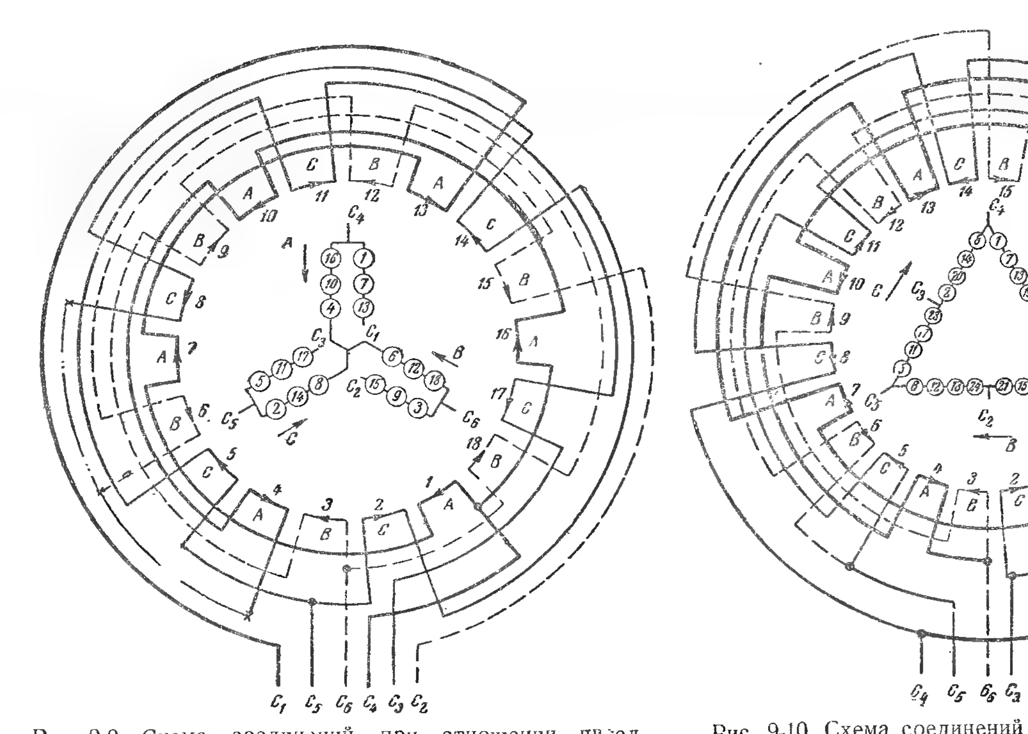


Рис. 9-9. Схема соединений при отношении чисел полюсов 6/12. Для переменного момента.

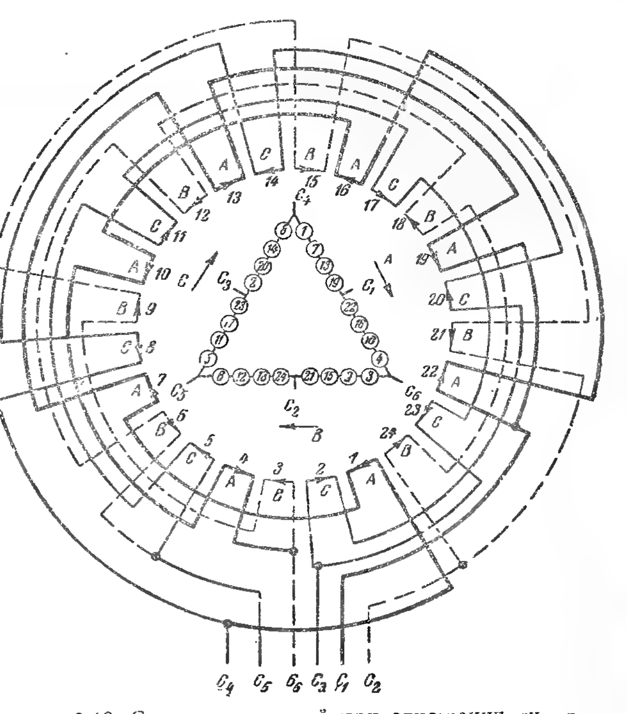


Рис. 9-10. Схема соединений при отношении чисел полюсов 8/16. Для постоянной мощности.

Рис. 9-11. Схема соединений при отношении чисел полюсов 8/16. Для постоянного момента.

Рис. 9-12. Схема соединений при отношении чисел полюсов 8/16. Для переменного момента.

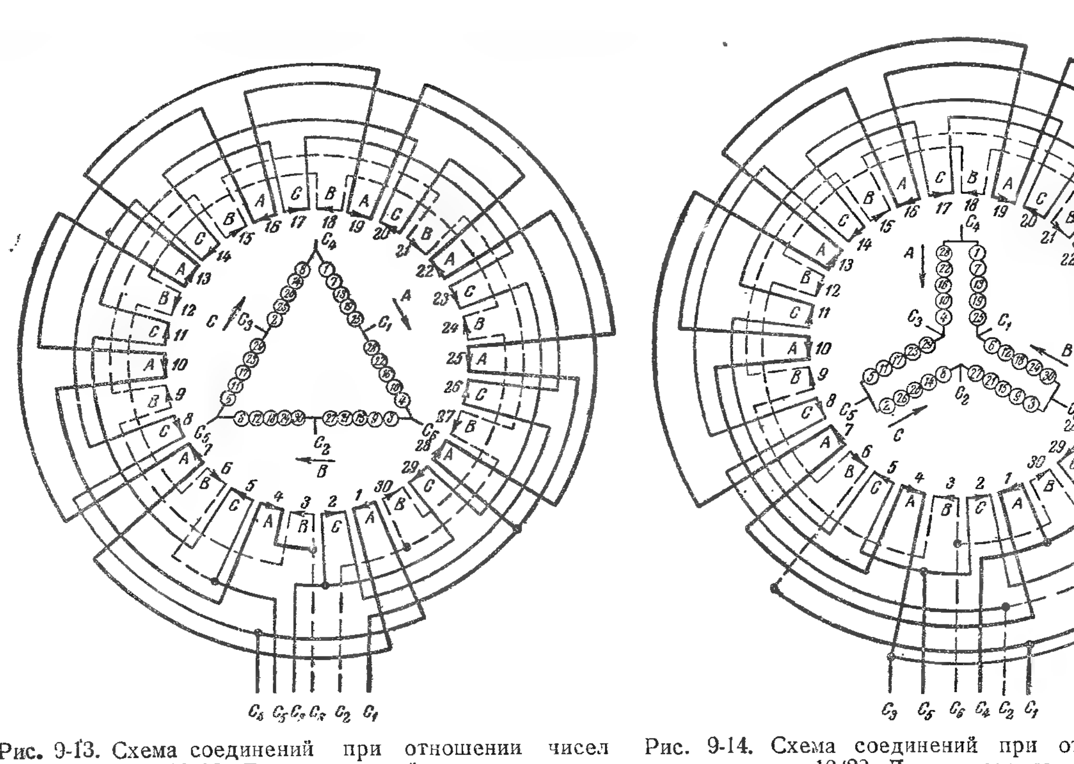


Рис. 9-13. Схема соединений при отношении чисел полюсов 10/20. Для постоянной мощности.

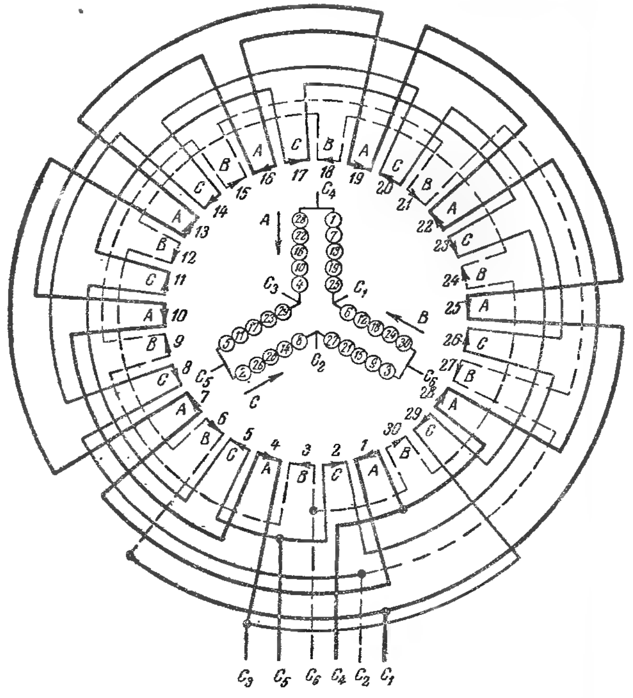


Рис. 9-14. Схема соединений при отношении чисел полюсов 10/20. Для постоянного момента.

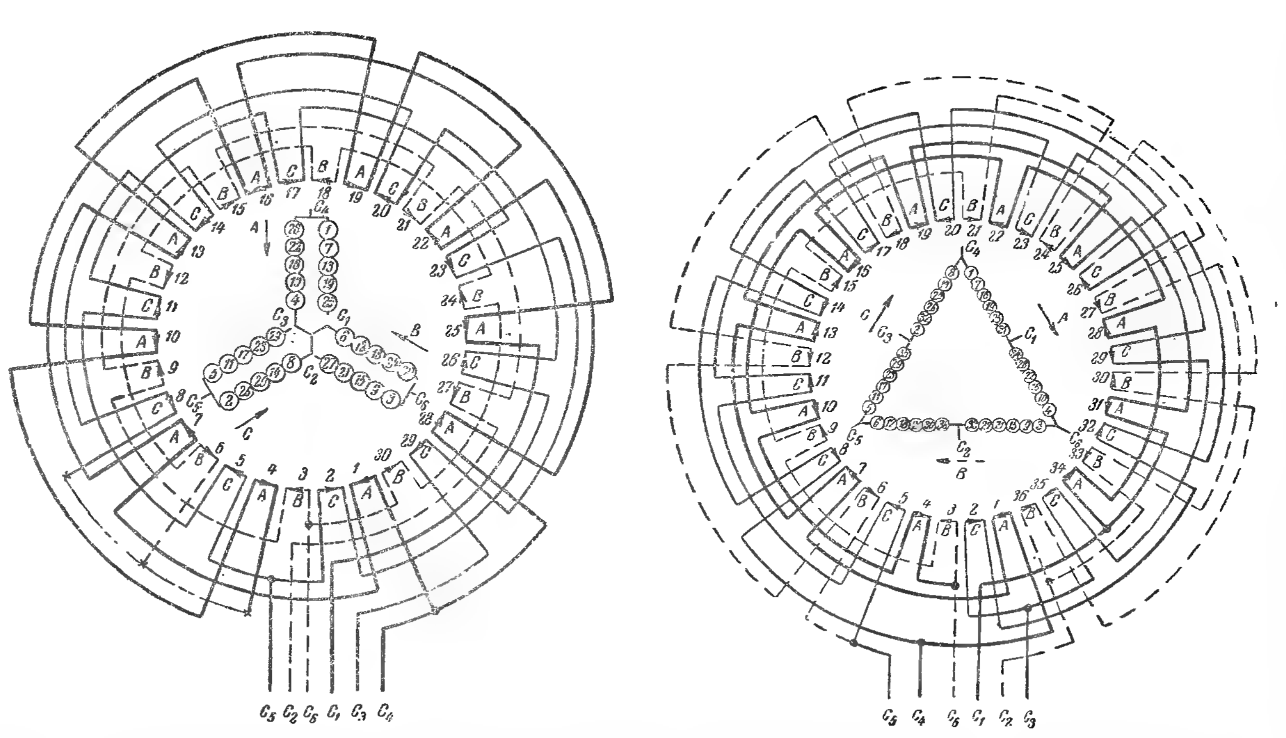



Рис. 9-15. Схема соединений при отношении чисел полюсов 10/20. Для переменного момента.

Рис. 9-16. Схема соединений при отношении чисел полюсов 12/24. Для постоянной мощности.

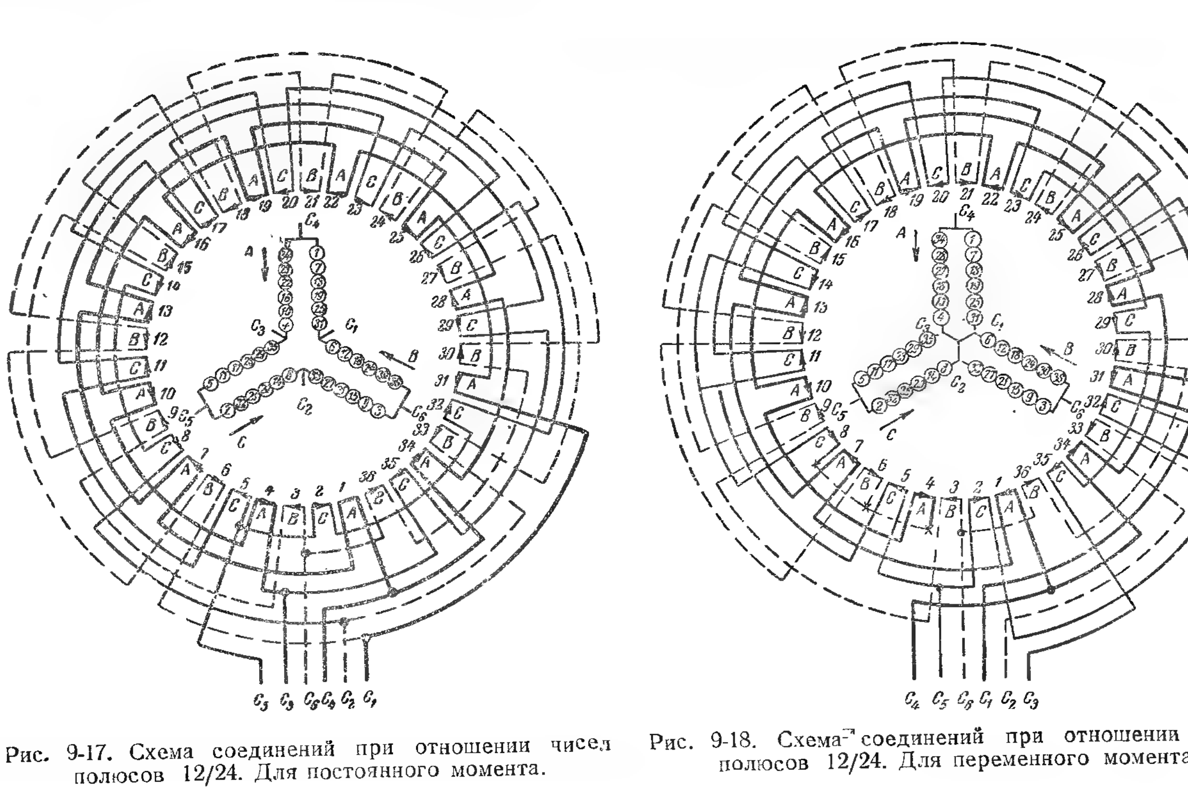



Рис. 9-17. Схема соединений при отношении чисел полюсов 12/24. Для постоянного момента.

Рис. 9-18. Схема соединений при отношении чисел полюсов 12/24. Для переменного момента.

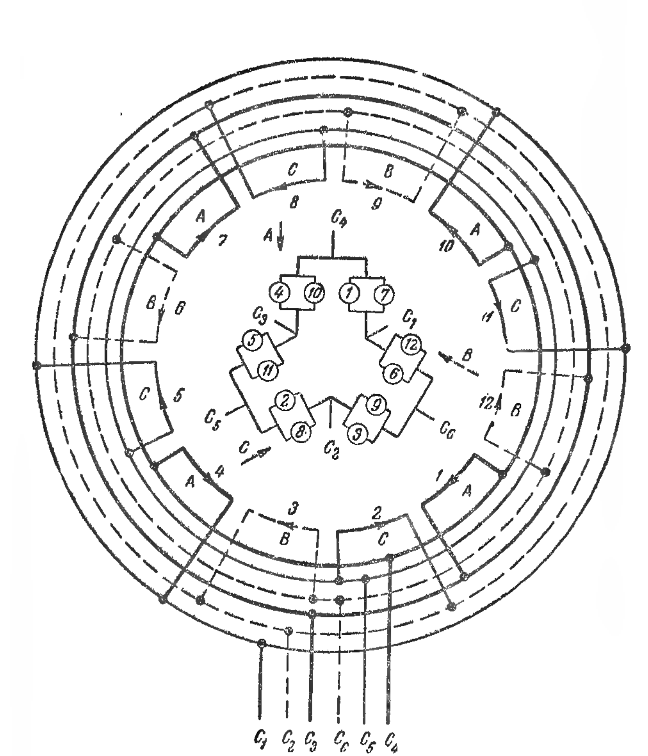



Рис. 9-19. Схема соединений при отношении чисел полюсов 4/8. Для постоянного момента с 4 параллельными звездами — 2 параллельными треугольниками.

Таблица 9-1

## Таблица схем соединений для многоскоростных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором

Три фазы, две скорости, одна обмотка, постоянная мощность

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты | Соединены между собой |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | | $C_4$ $C_5$ $C_6$ |
| 2-я высшая | $C_6$ | $C_4$ | $C_5$ | $C_1$ $C_2$ $C_3$ | |

Три фазы, две скорости, одна обмотка, постоянный момент

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты | Соединены между собой |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | Все другие | |
| 2-я высшая | $C_6$ | $C_4$ | $C_5$ | | $C_1$ $C_2$ $C_3$ |

Три фазы, две скорости, одна обмотка, переменный момент

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты | Соединены между собой |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | Все другие | |
| 2-я высшая | $C_6$ | $C_4$ | $C_5$ | | $C_1$ $C_2$ $C_3$ |

Три фазы, две скорости, две обмотки, постоянная мощность

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты |
|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_{11}$ $C_{12}$ $C_{13}$ |
| 2-я высшая | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{13}$ | $C_1$ $C_2$ $C_3$ |

Три фазы, две скорости, две обмотки, постоянный момент

| Скорость | $Л_1$ | $Л_1$ | $Л_3$ | Разомкнуты |
|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_{11}C_{12}C_{13}C_{17}$ |
| 2-я высшая | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{13}C_{17}$ | $C_1C_2C_3$ |

Три фазы, две скорости, две обмотки, переменный момент

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты |
|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3C_7$ | $C_{11}C_{12}C_{13}$ |
| -я высшая | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{12}$ | $C_1C_2C_3C_7$ |

*Продолжение табл. 9-1*

Три фазы четыре скорости, две обмотки, переменный момент

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты | Соединены между собой |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | Все другие | $C_1C_5C_6C_7$ |
| 2-я | $C_6$ | $C_4$ | $C_5C_7$ | Все другие | |
| 3-я высшая | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{13}$ | Все другие | |

Три фазы, три скорости, две обмотки, постоянный момент

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты | Соединены между собой |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3C_7$ | Все другие | |
| 2-я | $C_6$ | $C_4$ | $C_5$ | Все другие | $C_1C_2C_3C_7$ |
| 3-я высшая | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{13}$ | Все другие | |

Три фазы, три скорости, две обмотки, переменный момент

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты | Соединены между собой |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | Все другие | |
| 2-я | $C_6$ | $C_4$ | $C_5$ | Все другие | $C_1C_2C_3$ |
| 3-я высшая | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{13}$ | Все другие | |

Три фазы, четыре скорости, две обмотки, постоянная мощность

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты | Соединены между собой |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | Все другие | $C_4C_5C_6C_7$ |
| 2-я | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{13}$ | Все другие | $C_{14}C_{15}C_{16}C_{17}$ |
| 3-я | $C_6$ | $C_4$ | $C_5C_7$ | Все другие | |
| 4-я высшая | $C_{16}$ | $C_{14}$ | $C_{15}C_{17}$ | Все другие | |

Три фазы, четыре скорости, две обмотки, постоянный момент

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты | Соединены между собой |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3C_7$ | Все другие | |
| 2-я | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{13}C_{17}$ | Все другие | |
| 3-я | $C_6$ | $C_4$ | $C_5$ | Все ругие | $C_1C_2C_3C_7$ * |
| 4-я высшая | $C_{16}$ | $C_{14}$ | $C_{15}$ | Все другие | $C_{11}C_{12}C_{13}C_{17}$ |

Три фазы, четыре скорости, две обмотки, переменный момент

| Скорость | $Л_1$ | $Л_2$ | $Л_3$ | Разомкнуты | Соединены между собой |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-я низшая | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | Все другие | |
| 2-я | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{13}$ | Все другие | |
| 3-я | $C_6$ | $C_4$ | $C_5$ | Все другие | $C_1C_2C_3$ |
| 4-я высшая | $C_{16}$ | $C_{14}$ | $C_{15}$ | Все другие | $C_{11}C_{12}C_{13}$ |

Таблица 9-2

**Таблица схем соединений для отношений скоростей 2:1, приведенных в данной главе**

| Отношение чисел полюсов | $\frac{4}{8}$ | | $\frac{6}{12}$ | $\frac{8}{16}$ | $\frac{10}{20}$ | $\frac{12}{24}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Тип соединения | Схемы соединений (№ рисунка) | | | | | |
| Для постоянной мощности | 9-4 | | 9-7 | 9-10 | 9-13 | 9-16 |
| Для постоянного момента | 9-5 | 9-19* | 9-8 | 9-11 | 9-14 | 9-17 |
| Для переменного момента | 9-6 | | 9-9 | 9-12 | 9-15 | 9-18 |

* Четыре параллельные звезды для 8 полюсов и 2 параллельных треугольника для 4 полюсов.

# ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

# ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ МНОГОФАЗНОЙ ОБМОТКИ ДЛЯ НОВЫХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ И ПЕРЕМОТКА ДВИГАТЕЛЯ

Пересоединения в обмотке, которую имеет двигатель, или полная замена ее обусловливаются изменениями напряжения, частоты, скорости вращения или числа фаз.

**10-1. Соотношения между напряжением, потоком, числом витков и частотой.** Магнитный поток и якорь с проводниками представляют собой необходимые части любой электрической машины. В асинхронной машине поток создается обмоткой статора, а ротор является якорем[1]; в синхронной машине поток создается обмоткой ротора и якорем служит статор.

Поток определяется напряжением, приложенным к обмотке статора, числом последовательно соединенных витков фазы и частотой сети:

*Напряжение = постоянная × поток на полюс × число последовательно соединенных витков фазы × частота.* (10-1)

Число последовательно соединенных витков фазы получим, умножив число витков единичной катушки на число катушек полюсно-фазной группы и на число полюсно-фазных групп каждой ветви фазы. Число полюсов и частота сети определяют скорость вращения машины [уравнение (1-1)].

В готовой машине все эти величины строго фиксированы. Если обмотка пересоединяется для новых условий, то изменение одной или нескольких из этих величин, которое приводит к соответствующему изменению некоторых дру-

[1] Принято также называть статор асинхронной машины первичным якорем, а ротор ее — вторичным якорем, если электрическая энергия подводится к статору. (Ред.)



гих величин, должно быть сделано таким образом, чтобы всегда удовлетворялось уравнение (10-1). Например, напряжение двигателя может быть уменьшено в 2 раза по сравнению с первоначальным, если при этом увеличено в 2 раза число параллельных ветвей исходной обмотки. Соответствующие изменения подробно рассмотрены в § 10-2, где показано, что нельзя произвольно изменять только 1 величину.

Вращающий момент электрической машины определяется потоком на полюс, числом полюсов, числом проводников якоря и током в каждом проводнике якоря, т. е.

*Вращающий момент = постоянная × поток на полюс × × число полюсов × число проводников якоря × ток якоря.* (10-2)

Вращающий момент пропорционален квадрату напряжения, так как и ток и поток, каждый в отдельности, пропорциональны напряжению. Согласно уравнению (10-1) вращающий момент также пропорционален квадрату потока.

В асинхронном двигателе ток статора зависит от тока ротора. Сечение проводника определяется значениями тока и допустимой плотности тока. Если в машине делаются изменения, то необходимо позаботиться о том, чтобы при всяком увеличении тока плотность тока в проводнике не выходила за допустимые пределы.

Так же как ток и сечение проводника, определяют плотность тока в проводнике, поток и поперечные сечения стальных участков, по которым проходит поток, определяют плотность его (индукцию) в этих участках. Если делаются какие-либо изменения в машине, то плотность потока не должна претерпевать заметных изменений.

Мощность двигателя дается соотношением

$$\textit{Мощность}\ (\textit{квт}) = \frac{\textit{вращающий момент} \times \textit{об/мин}}{973}, \quad (10\text{-}3)$$

где вращающий момент выражен в килограммометрах, а *об/мин* — действительная скорость вращения двигателя, которая меньше на 1—5% синхронной скорости, определяемой по уравнению (1-1). Большее изменение скорости относится к малым двигателям и меньшее — к большим.

Если мощность и скорость вращения заданы, то по уравнению (10-3) можно определить вращающий момент.

**10-2. Пересоединение на другое напряжение.** Если новое напряжение выше прежнего, то прежде всего надо обра-

титься к изоляции обмотки. Существует определенная классификация изоляционных материалов, применяемых для обмоток. Обычная классификация приведена в табл. 2-1 и 2-2. При напряжениях 110—600 *в* толщина изоляционного материала определяется больше его механическими, чем электрическими свойствами; поэтому обмотки, выполненные на 110 *в*, могут быть использованы и для напряжений до 600 *в*. Однако при более высоких напряжениях необходимо с большим вниманием выбирать изоляционные материалы и выполнять изоляцию как пазовых, так и лобовых частей обмотки.

Если обмотка пересоединяется для другого напряжения при той же самой частоте, то поток должен сохранить приблизительно свое прежнее значение, т. е. согласно уравнению (10-1) число витков должно быть изменено в том же отношении, в каком изменилось напряжение.

Простейший способ изменения числа витков 3-фазной обмотки — это переход от соединения треугольником к соединению звездой или обратный переход. Пересоединение обмотки с треугольника на звезду эквивалентно увеличению числа витков фазы в отношении 1,73 : 1, и наоборот, пересоединение обмотки со звезды на треугольник эквивалентно уменьшению числа витков фазы в отношении 1 : 1,73 = 0,58 : 1. Следовательно, обмотка, соединенная треугольником для 220 *в*, может быть пересоединена на звезду и использована для 380 *в*. Обратно, обмотка, соединенная звездой для 380 *в*, может быть использована для 220 *в* при треугольнике. (Напряжение сети 380 *в* в США не применяется, но применяется в СССР и других странах Европы.) Аналогичные пересоединения обмотки могут быть сделаны при переходе от напряжения 127 *в* к напряжению 220 *в* и обратно.

Для других условий и стандартизованных в СССР напряжений 127, 220, 380 (500), 3 000, 6 000, 10 000 *в* переход с одного напряжения на другое путем пересоединения обмотки возможен только в редких случаях. Например, при переходе от 6 000 *в* к 3 000 *в* надо увеличить в 2 раза, если это возможно, число параллельных ветвей фазы. Можно в отдельных случаях комбинировать переключение обмотки со звезды на треугольник или обратное переключение с изменением числа параллельных ветвей фазы. Однако при этом необходимо, чтобы плотность тока в проводниках обмотки, плотность потока (индукция) в стальных участках магнитной цепи машины



и, следовательно, сам поток ее не претерпевали значительных изменений; в противном случае может получиться недопустимое нагревание обмоток или понижение начального пускового и максимального вращающих моментов.

**10-3. Пересоединение на другую частоту.** На практике иногда частота изменяется от 25 до 50 *гц* или обратно и от 50 до 60 *гц* или обратно. Согласно уравнению (10-1) скорость будет изменяться пропорционально частоте, если число полюсов остается неизменным. Если скорость должна остаться той же или близкой к той же, что и раньше, то число полюсов надо изменить в том же отношении, в каком изменилась частота. Например, частота сети, к которой был подключен 6-полюсный двигатель, изменилась от 25 до 50 *гц*: синхронная скорость двигателя теперь будет равна $\frac{50}{25} \times \left(\frac{120 \times 25}{6}\right) = \frac{50}{25}(500) = 1\,000$ *об/мин*, и если необходимо сохранить прежнюю скорость, то число полюсов должно быть изменено с 6 до 12, что дает $\frac{120 \times 50}{12} = 500$ *об/мин*. Таким образом, надо рассмотреть 2 случая: а) когда скорость изменяется пропорционально частоте и б) когда скорость остается неизменной или почти неизменной.

**а) Скорость изменяется пропорционально частоте.** Если двигатель, предназначенный для работы при низкой частоте, например 25 *гц*, подключается к сети более высокой частоты, например 50 или 60 *гц*, то прежде всего возникают вопросы механической прочности двигателя. Обусловленные большей скоростью при более высокой частоте механические напряжения в роторе будут больше, чем прежде. В этих случаях следует обратиться за консультацией к заводу-поставщику двигателя и выяснить, допустимы ли повышенные механические напряжения в роторе. Кроме того, необходимо приспособить к новым условиям работы соединительную муфту или передачу — ременную или зубчатую.

Отвлекаясь от вопросов допустимых механических напряжений, следует рассмотреть два случая: 1) требуется, чтобы момент оставался неизменным при обеих частотах, и 2) требуется, чтобы мощность оставалась неизменной при обеих частотах. В первом случае мощность изменяется в том же отношении, что и скорость [уравнение (10-3)]; поток при этом должен сохранить одно и то же значение при обеих частотах [уравнение (10-2)]. Во втором случае момент изменяется обратно пропорционально изменению скорости

[уравнение (10-3)] и поток должен измениться пропорционально корню квадратному из соотношения частот.

Рассмотрим вначале случай **постоянного момента** и, следовательно, постоянного потока. Из уравнения (10-1) следует, что напряжение при этом должно быть изменено в том же отношении, в каком изменилась частота. На практике сравнительно редко удается обойтись без пересоединения обмотки. Обычно пересоединение обмотки приходится делать, чтобы сохранить более или менее постоянный поток. Здесь возможны переключение обмотки со звезды на треугольник или обратно, изменение числа параллельных ветвей фазы и комбинирование этих обоих способов. Можно также использовать переключение 6-зонной обмотки на 3-зонную, что дает изменение коэффициента распределения приблизительно от 0,957 до 0,83 (см. приложение 5).

Во втором случае обмотка также должна быть пересоединена с учетом необходимого изменения потока.

**б) Скорость остается неизменной при обеих частотах.** Это может быть достигнуто, как указывалось ранее, только пересоединением обмотки на другое число полюсов. Такое пересоединение рассматривается в § 10-5.

**10-4. Эффективное число витков. Коэффициент распределения и коэффициент укорочения.** Число витков фазы представляет собой важную величину в уравнении (10-1). Как отмечалось, оно зависит от числа витков единичной катушки, значения ППФ, числа полюсно-фазных групп фазы (т. е. числа полюсов) и числа параллельных ветвей. Однако следует иметь в виду не действительное значение ППФ, а его **эффективное** значение. Последнее равно действительному значению, умноженному на коэффициент распределения, который всегда меньше 1. Например, 3-фазная обмотка при ППФ=4 имеет коэффициент распределения, равный 0,958, а эффективное число ППФ, равное $4\times0{,}958=3{,}83$. При этом значении должно быть подсчитано эффективное число витков.

Коэффициенты распределения 3-фазных и 2-фазных обмоток для различных значений ППФ приведены на рис. П5-1. Отметим, что 3-зонные обмотки используются только для двух- или многоскоростных двигателей (см. приложение 5). Для обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу могут быть использованы те же самые кривые на рис. П5-1, но при условии, что вместо ППФ берется числитель *N* ППФ. Например, значение коэффициента



распределения обмотки при ППФ$=2^1/_2={}^5/_2$ определяется по рис. П5-1 как значение, соответствующее ППФ=5.

Имеется другой коэффициент, который обычно уменьшает действительное число витков. Он называется **коэффициентом укорочения**. Этот коэффициент, также меньший единицы, обусловлен укорочением (иногда удлинением) заднего шага (ширины катушки) обмотки по сравнению с полюсным делением. Как ранее отмечалось (см. § 1-8), ширина катушки делается приблизительно равной **полюсному делению**, за исключением 2-полюсных машин, где она часто выбирается для облегчения укладки обмотки равной 55—65% полюсного деления. Когда задний шаг меньше полюсного деления, то виток не будет охватывать весь поток полюса и, следовательно, будет менее эффективен, чем в случае, когда задний шаг равен полюсному делению. Рассмотрим, например, 3-фазную обмотку при ППФ=4, т. е. при 12 пазах на полюс. Когда задний шаг равен 12 пазовым делениям (из *1* в *13*), то коэффициент укорочения равен 1. Когда задний шаг равен 10 пазовым делениям (из *1* в *11*), то коэффициент укорочения равен 0,965 и действительное число витков уменьшается на 3,5%. Когда задний шаг больше полюсного деления, виток охватывает полный поток одного полюса и часть потока соседнего полюса противоположной полярности. Результирующий поток, охватываемый витком, снова будет меньше, чем при полном шаге, и при расчете эффективных витков надо учесть коэффициент укорочения.

Значения коэффициента укорочения для различных отношений шага (ширины катушки) к полюсному делению (оба измеряются пазовыми делениями) приведены на рис. П5-2.

**10-5. Пересоединение на другую скорость вращения.** Пересоединения в обмотке на другую скорость вращения путем изменения ее числа полюсов требуются в двух случаях. Первый случай имеет место, когда двигатель, рассчитанный для работы при одной частоте, присоединяется к сети другой частоты и когда скорость его должна отличаться от скорости, соответствующей новой частоте сети. Пример такого случая приведен в начале § 10-3. Во втором случае двигатель, рассчитанный для работы при определенных частоте и скорости вращения, должен работать при той же самой частоте, но при другой скорости вращения. Последний случай имеет большее практическое значение.

Если двигатель должен работать при скорости, значительно более высокой, чем скорость, на которую он рассчитан, то возникающие при этом вопросы механической прочности следует решать, как указывалось в § 10-3.

Обмотка, выполненная для некоторого определенного числа полюсов, имеет определенную ширину катушки, соответствующую полюсному делению. При изменении числа полюсов изменяется полюсное деление, но ширина катушки остается той же самой. Отношение ширины катушки к полюсному делению, а следовательно, и коэффициент укорочения пересоединенной обмотки будут отличаться от соответствующих значений первоначальной обмотки. Коэффициент укорочения определяет число эффективных витков фазы (см. § 10-4), и очевидно, что пересоединенная обмотка имеет значительно меньшее число эффективных витков, чем первоначальная обмотка.

Далее, двигатель, рассчитанный для некоторого числа полюсов, имеет определенные значения потока на полюс и индукции в воздушном зазоре и в стали. Если обмотка пересоединяется для другого числа полюсов, то индукция в воздушном зазоре должна быть оставлена приблизительно той же самой; при этом поток изменится приблизительно обратно пропорционально числу полюсов. Например, 4-полюсный двигатель, пересоединенный на 8 полюсов, будет иметь поток на полюс, приблизительно равный половине потока 4-полюсного двигателя.

Различие чисел эффективных витков на фазу и различие потоков на полюс делают необходимым изменение напряжения, подводимого к пересоединенной обмотке. Если эти различия не могут быть устранены добавочными пересоединениями в обмотке двигателя, то требуются специальные ответвления у трансформатора, питающего двигатель. Поясним сказанное на примере; при этом покажем также, как определяется мощность двигателя для различных скоростей вращения.

Рассмотрим 3-фазный 4-полюсный двигатель на 100 *квт*, 50 *гц* и 220 *в*. Полное число пазов равно 48, т. е. ППФ=4. Ширина катушки равна 10 пазовым делениям, что дает отношение ширины катушки к полюсному делению $y_з/\tau=10/12=0{,}833$. Двигатель пересоединяется на 6 полюсов. Скорость при этом понизится примерно с 1 460 до 970 *об/мин*. Число пазов на полюс будет $\frac{48}{6}=8$, а отношение ширины катушки к полюсному делению $y_з/\tau=10/8=1{,}25$. Коэффициент укорочения первоначальной обмотки равен 0,966 (см. рис. П5-2) и коэффициент укорочения пересоединенной обмотки равен 0,924. Полюсное деление пересоединенной обмотки равно $4/6=2/3$ полюсного деления первоначальной обмотки. Следовательно, поток пересоединенной обмотки при постоянной индукции в воздушном зазоре равен $2/3$ первоначального потока. Если принять поток 4-полюсной машины за 1, то произведение потока на коэффициент укорочения равно $1\times0{,}966=0{,}966$ для 4-полюсной обмотки и $2/3\times0{,}924=0{,}616$ для 6-полюсной обмотки. Напряжение при 4 полюсах равно 220 *в*. Следовательно, напряжение при 6 полюсах и постоянной индукции должно быть равно $(0{,}616/0{,}966)\times220=140$ *в*.



Аналогичные расчеты производятся применительно к пересоединениям на 8 полюсов. Результаты расчетов приведены в следующей таблице:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Число полюсов | 4 | 6 | 8 |
| Скорость (*об/мин*) | 1 460 | 970 | 728 |
| Ширина катушки в пазовых делениях | 10 | 10 | 10 |
| Полюсное деление в пазовых делениях | 12 | 8 | 6 |
| Отношение ширины катушки к полюсному делению | 0,833 | 1,25 | 1,667 |
| Коэффициент укорочения | 0,966 | 0,924 | 0,50 |
| Относительное значение потока | 1 | $\frac{4}{6}$ | $\frac{4}{8}$ |
| Относительное значение потока × коэффициент укорочения | 0,966 | 0,616 | 0,25 |
| Напряжение (*в*) | 220 | 140 | 57 |

Если первоначальная обмотка соединена в треугольник, то при переключении ее на звезду потребуется 380 *в* при 4 полюсах, 241 *в* при 6 полюсах и 98 *в* при 8 полюсах. Тогда 6-полюсная обмотка может работать удовлетворительно при напряжении сети 220 *в*.

Вообще может потребоваться некоторое повышение или понижение напряжения, полученного из расчета. Повышение может быть необходимо для увеличения пускового или максимального момента при пересоединениях на высшее число полюсов. Понижение напряжения может быть необходимо, когда обмотка пересоединяется на низшее число полюсов, так как в противном случае индукция в ярмах статора и ротора может получиться слишком большой (в нормальных двигателях высота ярма статора или ротора заметно уменьшается при переходе от 4 к 6 и к 8 полюсам[1].

[1] Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [Л. 8].

Мощность двигателя на валу равна произведению числа фаз, фазного напряжения, фазного тока, коэффициента мощности и коэффициента полезного действия (к. п. д.). Если в пересоединенной обмотке сохраняются соединение между фазами и число параллельных ветвей, то фазный ток остается неизменным при всех числах полюсов[1]. Коэффициент мощности и к. п. д. несколько уменьшаются при увеличении числа полюсов. Пренебрегая изменением этих величин, получим, что мощность изменяется так же, как напряжение; поэтому для рассматриваемого двигателя имеем:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Число полюсов | 4 | 6 | 8 |
| Мощность | 100 | 64 | 26 |

Пересоединение на 8 полюсов в данном случае следует считать нецелесообразным из-за слишком малого значения коэффициента укорочения. Малое значение коэффициента укорочения приводит не только к уменьшению мощности, но и к искажению распределения индукции в воздушном зазоре. В результате такого искажения могут возникнуть шум при пуске и работе двигателя, а также уменьшение момента в процессе пуска. Обмотки с коэффициентом укорочения, меньшим 0,7, применять не рекомендуется.

Обмотка, пересоединенная на 6 полюсов, имеет ППФ$=\frac{43}{3\times 6}=2\frac{2}{3}$. Следовательно, получается несимметричная обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу. Группировка катушек такой обмотки определяется так же, как указывалось в гл. 5. Изоляция обмотки должна быть изменена в соответствии с новой группировкой катушек.

Если обмотка пересоединяется на число полюсов, в 2 раза большее первоначального, то иногда может быть использовано соединение «от верхнего к нижнему», рассмотренное в гл. 9. Так, например, если первоначальная обмотка соединена в звезду при наличии параллельных ветвей, то, пересоединяя обмотку в звезду при последовательном соединении групп и используя при этом длинные междугрупповые соединения, получим удвоение числа полюсов и уменьшение скорости в 2 раза по сравнению с первоначальным значением. Таким же образом, если

[1] В действительности при переходе к низшей скорости фазный ток приходится несколько уменьшать, учитывая ухудшение самовентиляции. (Ред.)



первоначальная обмотка соединена треугольником при последовательном соединении групп, можно перейти к соединению звездой с параллельными ветвями, используя длинные междугрупповые соединения, что дает удвоение числа полюсов и уменьшение скорости в 2 раза по сравнению с первоначальным значением. Обмотка, размещенная в 3 зонах, имеет коэффициент распределения, равный 0,83, тогда как нормальная или 6-зонная обмотка имеет коэффициент распределения, близкий к 0,96. Коэффициент укорочения первоначальной обмотки определяет коэффициент укорочения пересоединенной 3-зонной обмотки. Эффективное число витков в каждом случае будет зависеть от соответственных коэффициентов укорочения и распределения, и эти коэффициенты должны быть тщательно рассмотрены при пересоединениях обмотки на различные скорости.

В гл. 9 отмечалось, что в 2-скоростных обмотках ширина катушки должна быть близкой к половине полюсного деления обмотки с меньшим числом полюсов, в противном случае получается искажение распределения поля, в результате которого могут возникнуть шум и уменьшение момента в процессе разбега двигателя. То же самое применимо и здесь, если используется соединение «от верхнего к нижнему». Например, 4-полюсная обмотка с шириной катушек, близкой к половине ее полюсного деления, может быть использована при соединениях «от верхнего к нижнему» для 8 полюсов.

В правильно спроектированном двигателе выбираются определенные соотношения между числом пазов статора, числом пазов ротора и числом полюсов, чтобы не могли возникнуть провалы в кривой, выражающей зависимость момента от скорости, и шумы при работе и пуске двигателя. При пересоединении обмотки на другое число полюсов эти соотношения изменяются, но они не должны сильно отличаться от первоначальных[1]. Для уменьшения провалов в кривой момента следует выбирать отношение ширины катушки к полюсному делению приблизительно равным 0,83 и применять скос пазов ротора или статора на 1 пазовое деление статора.

**10-6. Пересоединение на другое число фаз.** Практическое значение имеют только пересоединение с 2 на 3 фазы и обратное пересоединение[2]. В первом случае в зависимости

[1] См. [Л. 8].

[2] Указанные пересоединения для заводов СССР не представляют практического интереса, так как 2-фазный ток в СССР не применяется. Поэтому § 10-6 представлен здесь в сокращенном виде. (Ред.)

от отношения напряжений 2-фазной и 3-фазной обмоток приходится выбирать число параллельных ветвей на фазу, сопряжение фаз (звезда или треугольник) и иногда выключать отдельные катушки из схемы обмотки, сохраняя при этом ее симметрию. Во втором случае задача решается аналогичным образом.

**10-7. Определение мощности по данным размерам двигателя.** Если размеры и скорость вращения машины известны, то может быть определена ее мощность. Как указывалось в § 10-1, вращающий момент электрической машины определяется потоком на полюс, числом полюсов, числом проводников якоря и током в этих проводниках. При данных размерах машины ее поток имеет определенное значение, которое зависит от допустимых индукций (плотностей потока); также имеют определенные значения число проводников якоря и ток в них, который зависит от допустимой плотности тока. По моменту и скорости вращения определяется мощность машины.

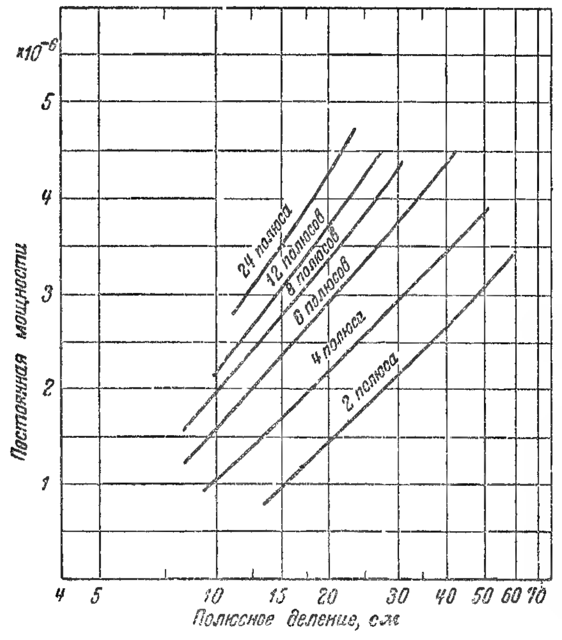


Рис. 10-1. Постоянная мощности для трехфазных асинхронных двигателей.



Можно применить к многофазным асинхронным двигателям следующее выражение:

$$\textit{Мощность (квт)} = \textit{постоянная} \times D^2 \times l \times \textit{об/мин}, \quad (10\text{-}4)$$

где $D$ — внутренний диаметр статора (диаметр расточки статора); $l$ — длина статора по его оси, включая радиальные вентиляционные каналы ($D$ и $l$ — в сантиметрах). Вместо *об/мин* следует подставить синхронную скорость вращения. Приближенные значения постоянной, которую назовем постоянной мощности, приведены на рис. 10-1. Этот рисунок может быть использован, когда перематывается старая машина, для определения ее мощности при заданной скорости.

**10-8. Перемотка двигателя.** Если требуется перемотать двигатель для тех же условий работы, для которых он предназначался, то при наличии обмоточных данных следует выполнить обмотку согласно этим данным. Если двигатель перематывается на другое напряжение при сохранении всех остальных условий неизменными и если известны его обмоточные данные, то согласно уравнению (10-1) число витков обмотки надо изменить пропорционально новому напряжению. Сечение проводника обмотки также должно быть изменено, а именно пропорционально новому току. Если двигатель перематывается для условий работы, отличающихся от первоначальных, например для другой мощности, или другой скорости, или другой частоты и т. д., то необходимо снова рассчитать машину. Вопросы такого расчета выходят за рамки данной книги. Они рассматриваются в специальных книгах по проектированию электрических машин [Л. 8].

## ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

# ОДНОФАЗНЫЕ ОБМОТКИ И ИХ СХЕМЫ

**11-1. Различные типы однофазных двигателей.** Существуют различные типы однофазных двигателей, а именно:

1. Двигатель с расщепленной фазой.
2. Двигатель с расщепленной фазой и пуском через активное сопротивление.
3. Двигатель с расщепленной фазой и пуском через индуктивное сопротивление.
4. Двигатель с конденсаторным пуском.
5. Конденсаторный двигатель с постоянно включенной емкостью.
6. Конденсаторный двигатель с двумя емкостями.
7. Репульсионный двигатель.
8. Асинхронный двигатель с репульсионным пуском.
9. Репульсионно-асинхронный двигатель.
10. Универсальный двигатель.
11. Двигатель с экранированными полюсами.
12. Реактивный двигатель с расщепленной фазой.
13. Конденсаторный реактивный двигатель.
14. Конденсаторный гистерезисный двигатель.
15. Гистерезисный двигатель с экранированными полюсами.

Согласно американским стандартам эти двигатели определяются следующим образом:

1. Двигатель с расщепленной фазой. Двигатель с расщепленной фазой — однофазный асинхронный двигатель, снабженный вспомогательной обмоткой, смещенной в магнитном поле относительно главной обмотки и соединенной с ней параллельно. (Примечание. Если нет особых указаний, то предполагается, что вспомогательная цепь размыкается, когда двигатель достигнет предписанной скорости. Термин «двигатель с расщепленной фа-



зой» без добавочных определений относится к двигателю, имеющему в цепях только полные сопротивления самих обмоток; другие типы таких двигателей определяются отдельно.)

2. Двигатель с расщепленной фазой и пуском через активное сопротивление. Двигатель с пуском через активное сопротивление — двигатель с расщепленной фазой, имеющий активное сопротивление, включенное последовательно со вспомогательной обмоткой. Вспомогательная цепь размыкается по достижении двигателем предписанной скорости.

3. Двигатель с расщепленной фазой и пуском через индуктивное сопротивление. Двигатель с пуском через индуктивное сопротивление — двигатель с расщепленной фазой, рассчитанный для пуска с индуктивным сопротивлением, последовательно включенным с главной обмоткой. Индуктивное сопротивление замыкается накоротко (шунтируется) или каким-либо другим способом выключается из цепи, и вспомогательная цепь размыкается по достижении двигателем предписанной скорости.

Конденсаторный двигатель это однофазный асинхронный двигатель с главной обмоткой, непосредственно подключаемой к сети, и вспомогательной обмоткой, соединенной последовательно с конденсатором. (Примечание. Конденсатор может быть включен в цепь через трансформатор и его емкость может изменяться между значениями пусковым и рабочим.)

4. Двигатель с конденсаторным пуском. Двигатель с конденсаторным пуском — конденсаторный двигатель, у которого цепь с конденсатором включена только на время пуска.

5. Конденсаторный двигатель с постоянно включенной емкостью. Конденсаторный двигатель с постоянно включенной емкостью — конденсаторный двигатель, имеющий одну и ту же емкость для условий пуска и работы.

6. Конденсаторный двигатель с двумя емкостями. Конденсаторный двигатель с 2 емкостями — конденсаторный двигатель с использованием различных значений емкости для условий пуска и работы.

7. Репульсионный двигатель. Репульсионный двигатель — однофазный двигатель, имеющий статорную обмотку, присоединяемую к сети, и роторную обмотку, со-

единенную с коллектором. Щетки на коллекторе замыкаются накоротко и размещаются таким образом, чтобы магнитная ось роторной обмотки была сдвинута относительно магнитной оси статорной обмотки. Этот тип двигателя имеет сериесную скоростную характеристику (как сериесный двигатель постоянного тока).

8. Асинхронный двигатель с репульсионным пуском. Асинхронный двигатель с репульсионным пуском — однофазный двигатель, имеющий такие же обмотки, как репульсионный двигатель, но при предписанной скорости его роторная обмотка замыкается накоротко или соединяется каким-либо другим способом, позволяющим сделать ее эквивалентной беличьей клетке. Этот тип двигателя пускается как репульсионный, но работает как асинхронный двигатель с шунтовой скоростной характеристикой (как шунтовой двигатель постоянного тока).

9. Репульсионно-асинхронный двигатель. Репульсионно-асинхронный двигатель — один из видов репульсионного двигателя, имеющего в роторе беличью клетку в добавление к обмотке репульсионного двигателя. Двигатель этого типа может иметь или шунтовую, или сериесную скоростную характеристику.

10. Универсальный двигатель. Универсальный двигатель — сериесный или компенсированный сериесный двигатель, который может работать при постоянном токе или однофазном переменном токе с одинаковыми приблизительно скоростями вращения и мощностями. Такие условия должны получиться, если напряжения постоянного тока и переменного тока приблизительно одинаковы, а частота переменного тока не превышает 60 *гц*.

11. Двигатель с экранированными полюсами. Двигатель с экранированными полюсами — однофазный асинхронный двигатель, снабженный вспомогательной короткозамкнутой обмоткой (или обмотками), смещенной в магнитном поле относительно главной обмотки.

12. Реактивный двигатель с расщепленной фазой. Американские стандарты не определяют этого типа двигатель, но дают определение реактивного двигателя.

Реактивный двигатель — синхронный двигатель, по конструкции подобный асинхронному двигателю, в котором часть, несущая вторичный контур, имеет выступающие полюсы без возбуждения постоянным током. Пускается



как асинхронный двигатель, но нормально работает с синхронной скоростью.

Согласно этому определению реактивный двигатель с расщепленной фазой можно определить как реактивный двигатель, статор которого не отличается от статора асинхронного двигателя с расщепленной фазой, т. е. статор имеет главную обмотку, вспомогательную обмотку, а также пусковой выключатель.

13. Конденсаторный реактивный двигатель. Согласно приведенному выше определению конденсаторный реактивный двигатель — реактивный двигатель, статор которого может быть снабжен обмотками в соответствии с определениями, приведенными ранее в пп. 4—6, т. е. для конденсаторного пуска, для постоянно включенной емкости или для двух значений емкости.

14. Конденсаторный гистерезисный двигатель. По американским стандартам гистерезисный двигатель определяется следующим образом:

Гистерезисный двигатель — синхронный двигатель без выступающих полюсов и без возбуждения постоянным током, пуск которого происходит из-за наличия гистерезисных потерь, созданных в его вторичной части из магнитно-твердой стали вращающимся полем первичной части. Нормально он работает с синхронной скоростью, обусловленной остаточным намагничиванием вторичного сердечника.

Согласно этому определению конденсаторный гистерезисный двигатель можно определить как гистерезисный двигатель с обмотками статора, выполненными в соответствии с определениями пп. 4—6.

15. Гистерезисный двигатель с экранированными полюсами. Согласно приведенному в п. 14 определению гистерезисный двигатель с экранированными полюсами может быть определен как гистерезисный двигатель со статорными обмотками, не отличающимися от обмоток двигателя с экранированными полюсами, определенного выше в п. 11.

Из приведенных определений следует, что первые 4 типа однофазных двигателей имеют, кроме главной обмотки, вспомогательную обмотку для пуска, которая отключается, когда двигатель достигнет определенной скорости. Оси обеих обмоток смещены на половину полюсного деления.

В конденсаторном двигателе с одной или двумя емкостями вспомогательная обмотка используется не только для пуска, но и для работы. Такие двигатели работают,

как несимметричные 2-фазные двигатели (в общем случае с эллиптическим вращающимся полем).

Роторная обмотка двигателей типов по пп. 1—6 представляет собой беличью клетку.

Пуск репульсионных двигателей по пп. 7—9 осуществляется при включении единственной статорной обмотки, так как ротор имеет якорную обмотку постоянного тока и коллектор. В то время как в репульсионном и репульсионно-асинхронном двигателях коллектор используется и при пуске и при работе, в асинхронном двигателе с репульсионным пуском коллектор при определенной скорости замыкается накоротко.

Статорная и роторная обмотки универсального двигателя подобны обмоткам сериесного двигателя постоянного тока. Статорная обмотка — или сконцентрированная и помещенная на выступающих полюсах (некомпенсированный универсальный двигатель), или распределенная и помещенная в пазах (компенсированный универсальный двигатель).

Статорные обмотки двигателя с экранированными полюсами помещаются на выступающих полюсах. Короткозамкнутая вспомогательная обмотка состоит из одного или нескольких витков; она охватывает часть главного полюса. Роторная обмотка — короткозамкнутая в виде беличьей клетки. Двигатели типов 1—6, 8 и 11 — асинхронные двигатели с шунтовой скоростной характеристикой.

Реактивный двигатель (типы 12 и 13) — синхронный двигатель, ротор которого имеет выступающие полюсы без возбуждения постоянным током. Статор такой же, как у асинхронного двигателя.

Гистерезисный двигатель (типы 14 и 15) — синхронный двигатель без выступающих полюсов и без возбуждения постоянным током. Ротор имеет кольцо из магнитно-твердой стали; гистерезисные потери в нем обусловливают образование пускового момента.

**11-2. Статорные обмотки.** Для статоров однофазных двигателей типов по пп. 1—9 и 12—15 используются три типа обмоток:

а) ручная обмотка;
б) шаблонная обмотка;
в) мотковая обмотка.

Для всех обмоток применимо следующее правило: магнитные полярности должны чередоваться от полюса к полюсу (см. § 11-4б), а следовательно, соседние полюсы



должны обматываться так, чтобы их полярности были противоположными (исключение указывается в § 11-6а), т. е. если один полюс обматывается в направлении вращения стрелки часов, то соседний полюс должен наматываться в направлении против вращения стрелки часов.

**а) Ручная обмотка.** Рассмотрим рис. 11-1, на котором представлена главная обмотка 4-полюсной машины с 36 пазами. Она состоит из 4 идентичных катушечных групп, имеющих каждая по 3 единичные катушки. Обмотчик начинает наматывать одинарным проводом внутреннюю катушку *3—7*, укладывая в пазы по одному витку. После того как внутренняя катушка будет намотана, надо

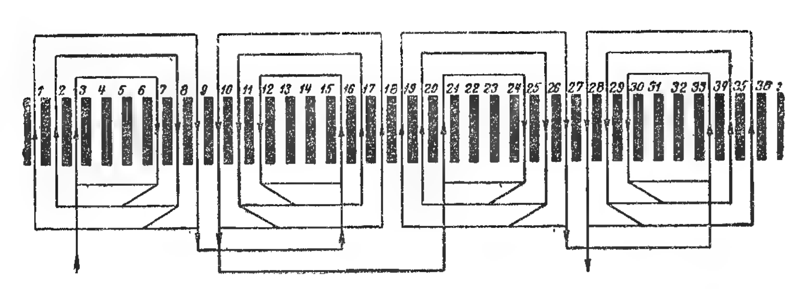


Рис. 11-1. Главная обмотка 4-полюсного статора с 36 пазами. Ручная обмотка.

перейти к следующей катушке и уложить ее в соседние пазы *2—8* и т. д. Конец катушечной группы лежит в пазу *9*. Отсюда обмотчик переносит провод в паз *16* и наматывает в противоположном направлении все витки катушки *16—12*. Затем наматывается катушка *17—11* и, наконец, последняя катушка этой группы *18—10*. Конец этой группы лежит в пазу *10*. Отсюда обмотчик переносит провод в паз *21* и т. д. Все катушечные группы, таким образом, соединяются последовательно. Для параллельного соединения обмотчик заканчивает намотку после того, как будет готова катушка *18—10*, и начинает далее намотку с катушки *21—25* новым проводом.

При выполнении обмотки следует прикрыть полосками тонкого картона острые края зубцов, чтобы избежать повреждений изоляционного покрытия обмоточного провода. Следует также при укладке лобовых частей катушек главной обмотки оставить место для укладки лобовых частей катушек вспомогательной обмотки.

**б) Шаблонная обмотка.** Концентрические катушки (см. рис. 1-6) сначала наматываются на шаблоне, а затем вручную укладываются в пазы (рис. 11-2). При использовании ступенчатого шаблона (см. рис. 1-8) все катушки



Рис. 11-2. Укладка шаблонной обмотки в пазы 4-полюсного статора.

катушечной группы могут быть намотаны одна за другой одним проводом. Можно также намотать и все следующие одна за другой катушечные группы одним проводом. Последний может состоять из 1 или 2 параллельных элементарных проводников. Вместо шаблона можно использовать доску, в которую вбиты гвозди со срезанными головками. Для определения периметра шаблона или длины обхода вокруг вбитых гвоздей рекомендуется петлей из провода охватить зубцы статора (в центрах пазов), поместив ее в том положении, какое будет занимать готовая катушка. Как и для ручной обмотки, острые края зубцов надо прикрыть полосками картона при укладке проводников в пазы. Размеры лобовых частей шаблонной обмотки несколько больше тех же размеров ручной обмотки. Однофазная шаблонная обмотка может быть также выполнена в виде распределенной обмотки с одинаковыми катушками подобно распределенной многофазной обмотке (рис. 2-4 и 2-5). На рис. 11-3 показана группа катушек на 1 полюс такой обмотки, которую можно применять вместо концентрической обмотки, показанной на рис. 11-1. Место, занимаемое лобовыми частями этой обмотки, и вес ее больше, чем для концентрической шаблонной обмотки. Поэтому последнюю следует предпочесть.

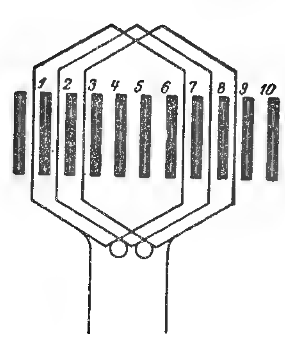



Рис. 11-3. Группа катушек на 1 полюс распределенной обмотки 4-полюсного статора с 36 пазами.

**в) Мотковая обмотка.** Мотковая обмотка часто используется как вспомогательная (пусковая) обмотка. Она состоит из стольких мотков провода, сколько имеется полюсов (см. рис. 1-9). Из каждого мотка делаются петли, закладываемые в пазы и образующие группу катушек на 1 полюс.

Число петель в отдельных парах пазов может быть различным. Полное число витков на полюс равно числу витков мотка, умноженному на число петель.

На рис. 11-4 показаны последовательные операции, необходимые для укладки мотка в пазы полюса 4-полюсной машины с 36 пазами (см. рис. 11-1). Моток сначала укладывается в пазы *3* и *7* (рис. 11-4,*а*) по 1—3 проводника за 1 раз. Затем моток оттягивается по направлению к обмотчику, чтобы лобовая часть обмотки на стороне, противоположной выводам, примыкала к сердечнику. При этом надо следить за тем, чтобы пазовая изоляция не была смещена вместе с мотком, в противном случае может быть повреждена изоляция провода. При следующей операции моток надо повернуть на полоборота (рис. 11-4,*б*) и весь моток протащить внутри сердечника статора. Затем провода паза *3* уложить в паз *8* и провода паза *7* — в паз *2* (рис. 11-4,*в*). После того как лобовые части обмотки будут плотно подтянуты к сердечнику, моток снова надо повернуть на полоборота, но в сторону, противоположную первому повороту (рис. 11-4,*г*), и весь моток протащить внутри сердечника статора. Провода паза *8* надо теперь уложить в паз *1*, а провода паза *2* — в паз *9*, после чего катушечная группа будет готова и ей можно будет придать надлежащую форму (рис. 11-4,*д*).

При манипуляциях с мотком следует позаботиться о том, чтобы не получались перекручивания и резкие изгибы проводов. Повороты мотка на полоборота перед его

протаскиванием внутри сердечника должны делаться попеременно в разных направлениях, чтобы избежать затруднений при укладке последней петли. Выполнение мот-

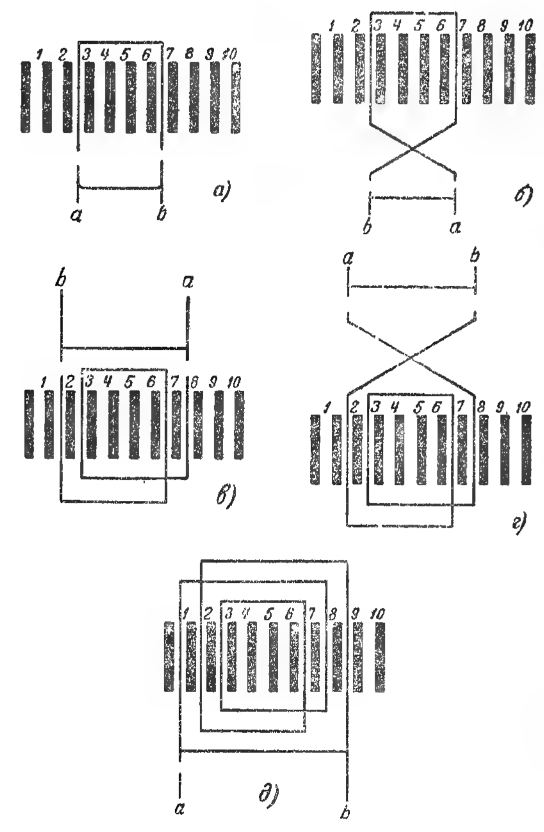



Рис. 11-4. Способ укладки мотковой обмотки путем протаскивания всего мотка внутри сердечника статора.

ковой обмотки встречает некоторые затруднения, если диаметр обмоточного провода больше 1—1,5 *мм* и если вес мотка больше 100 *г*.

Для определения длины мотка надо сделанные из тонкого провода петли заложить в пазы (приблизительно



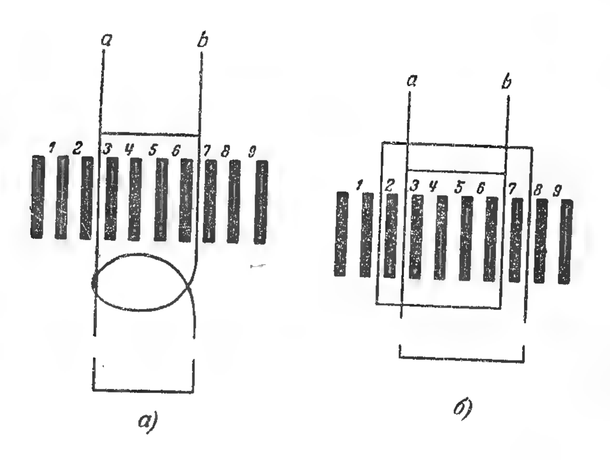
в центрах их) в том виде, в каком будут заложены петли мотка. Половина полной длины провода равна приблизительно длине мотка. Теперь можно сделать пробный моток и заложить его в пазы. Правильное определение его длины имеет важное значение.

Моток можно сделать, используя подходящий шаблон или наматывая провод вокруг 2 стержней, сдвинутых на длину мотка и укрепленных на доске. Начальный и конечный выводы должны находиться на одном и том же конце мотка. Прежде чем снять моток с шаблона или со стержней, следует его обернуть в отдельных местах короткими отрезками ленты, чтобы предотвратить спутывание проводов и разделить обе стороны мотка. Эти отрезки ленты удаляются, когда моток закладывается в пазы. Если моток имеет относительно большую длину, то вместо 2 стержней можно применить 4 стрежня; 2 средних стержня позволят избежать спутывания проводов.

При рассмотренном способе выполнения мотковой обмотки необходимо **весь** моток протаскивать внутри сердечника статора столько раз, сколько имеется катушек в группе минус 1. При другом способе нет необходимости протаскивать весь моток внутри сердечника. Здесь обмотчику приходится протаскивать **одну сторону** мотка через пазы при образовании из него петли, пока он не подойдет к последней единичной катушке, после чего он должен использовать другую сторону мотка, чтобы закончить катушечную группу. Сказанное поясняется на примере рис. 11-5, на котором представлена, как и на рис. 11-4, 1 полюсная группа. При этом способе надо вначале конец мотка с выводами расположить около сердечника. Выводы должны быть достаточно длинными, чтобы их можно было перенести с задней стороны сердечника на переднюю сторону через последние пазы (*1* и *9*). На рис. 11-5,*а* петля сделана на правой стороне мотка, протянута внутри сердечника статора и уложена в пазы *2* и *8* (рис. 11-5,*б*). Затем, так как далее следует последняя единичная катушка, провода третьей катушки протягиваются вверх и укладываются в паз *9*, а остаток катушки укладывается в паз *1* (рис. 11-5,*в*). В общем случае все петли делаются на одной стороне мотка.

На рис. 11-4 число сторон катушек (петель) одно и то же во всех пазах. Таблица распределения (см. § 11-4) главной обмотки, соответствующая рис. 11-4, показана на рис. 11-6.

Числа в квадратиках указывают, сколько раз петля проходит через паз. Другая таблица распределения для подобной 4-полюсной машины с 36 пазами показана на



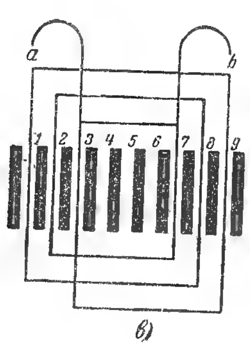




Рис 11-5. Способ укладки мотковой обмотки путем протаскивания одной стороны мотка внутри сердечника статора.

рис. 11-7. В этом случае моток главной обмотки проходит через бóльшую часть пазов 2 раза. Мотковая обмотка нормально имеет число катушечных групп, равное числу полюсов. Показанная на рис. 11-1 4-полюсная обмотка, которая может быть выполнена как ручная или как ша-



| № паза | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Главная обмотка | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 |

Рис. 11-6. Таблица распределения главной обмотки, показанной на рис. 11-4.

| № паза | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Главная обмотка | 1 1 | 2 | 2 | 1 | | | 1 | 2 | 2 | 1 1 | 2 | 2 | 1 | | | 1 | 2 | 2 | 1 1 | 2 | 2 | 1 | | | 1 | 2 | 2 | 1 1 | 2 | 2 | 1 | | | 1 | 2 | 2 |
| Пусковая обмотка | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | |

Рис. 11-7. Таблица распределения главной и пусковой обмоток в 36 пазах 4-полюсного статора.

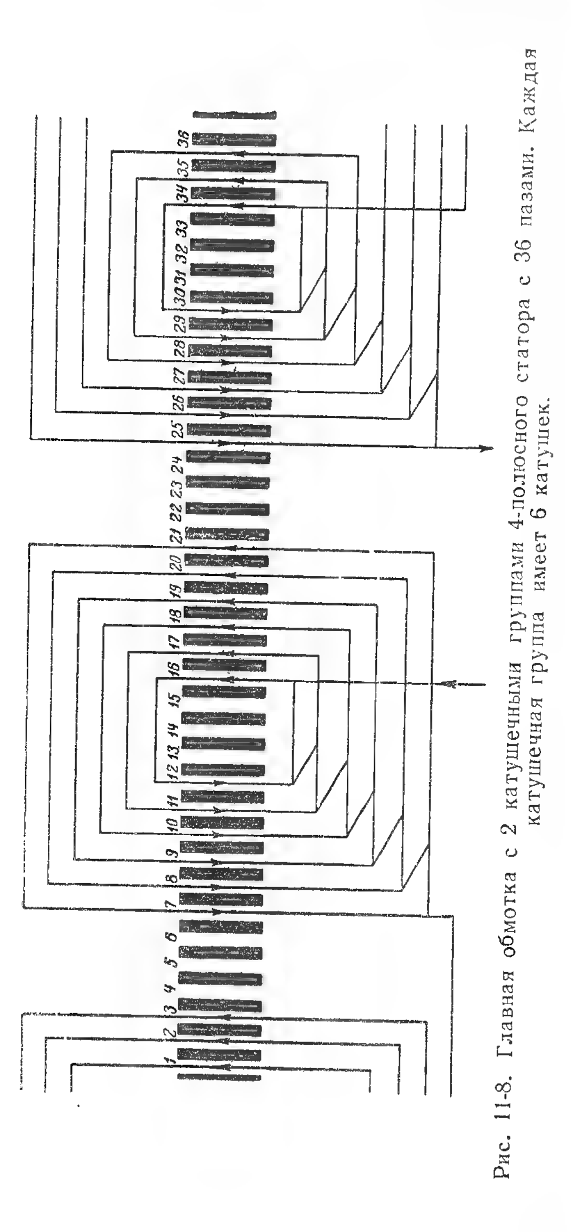



Рис. 11-8. Главная обмотка с 2 катушечными группами 4-полюсного статора с 36 пазами. Каждая катушечная группа имеет 6 катушек.



блонная, имеет число катушечных групп, равное числу полюсов (4). Однако эта последняя обмотка может быть выполнена с половинным числом катушечных групп, что показано на рис. 11-8. Эта 4-полюсная обмотка имеет только 2 катушечные группы. Существенной частью обмотки являются части проводников, которые лежат в пазах, а не лобовые соединения. Важно только, чтобы лобовые соединения не соединяли между собой проводников одной и той же полярности. Рассмотрим рис. 11-1. Направление токов, если его произвольно выбрать для одного из полюсов, тем самым определяется и для других полюсов, так как полярности полюсов должны чередоваться. Сравнивая рис. 11-1 с рис. 11-8, можно видеть, что в обоих случаях лобовые соединения соединяют только проводники различной полярности и что обе обмотки, следовательно, эквивалентны. Таблица распределения приведена на рис. 11-9.

Обмотка, показанная на рис. 11-1 и имеющая число катушечных групп, равное числу полюсов, является нормальной обмоткой, наиболее часто встречающейся. Обмотка, показанная на рис. 11-8 и имеющая число катушечных групп, в 2 раза меньшее числа полюсов, используется обычно для 2-скоростных двигателей (см. § 11-6). Вообще же этот тип обмотки применяется редко.

Очевидно, могут быть выполнены другие лобовые соединения, отличающиеся от показанных на рис. 11-1 и 11-8, без снижения эффективности обмотки. На рис. 11-1 имеем 4 катушечные группы с 3 единичными катушками в каждой; на рис. 11-8 имеем 2 катушечные группы с 6 единичными катушками в каждой. Можно сделать 2 катушечные группы с 4 единичными катушками в каждой и 2 катушечные группы с 2 единичными катушками в каждой. Такие обмотки с неодинаковыми катушечными группами также иногда встречаются.

**11-3. Изоляция проводов и пазов статора.** Для малых однофазных двигателей применяются эмалированные провода или эмалированные провода, обмотанные хлопчатобумажной пряжей в 1 слой [1]. Если позволяет место, второй тип изоляции следует предпочесть.

При напряжениях до 250 *в* для пазовой (корпусной) изоляции используется U-образная коробочка из электро-

[1] В СССР для малых машин в последние годы наиболее часто применяется провод марки ПЭВ-2 (эмалированный провод с 2 слоями лака «винифлекс») или провод марки ПЭЛБО (эмалированный провод с 1 слоем хлопчатобумажной обмотки). (Ред.)

картона или летероида толщиной примерно 0,3—0,35 *мм* Коробочка должна быть на 6—10 *мм* длиннее сердечника статора. Она должна быть вырезана из листа таким образом, чтобы волокна картона были параллельны пазу во избежание трещин на углах. Ширина коробочки должна соответствовать ширине паза; она не должна быть слишком высокой, но достаточной для того, чтобы ее края несколько выступали из открытия паза и чтобы легко было заложить провода в паз. После того как паз будет заполнен проводами, края коробочки загибаются один над другим и в паз над загнутыми краями коробочки загоняется деревянный (промасленный) или фибровый клин. Клин берется примерно на 6 *мм* длиннее сердечника статора. Фибровый клин может быть вырезан из листовой фибры толщиной приблизительно 1,5 *мм.*

Пазовая коробочка получается более прочной механически, если она делается составной из двух коробочек: из летероида толщиной 0,15 *мм* и лакоткани толщиной тоже 0,15 *мм.* Летероидная коробочка помещается ближе к стали. Если коробочка из лакоткани делается выше коробочки из летероида и выступает над открытием паза примерно на 10 *мм,* то нет необходимости применять проходные полоски картона для прикрытия острых краев зубцов.

Составная коробочка из летероида толщиной 0,15 *мм* и лакоткани толщиной 0,15 *мм* может быть также использована и для напряжений выше 250 *в.* Однако в этом случае обе коробочки должны иметь одни и те же размеры.

Когда в пазу помещаются катушечные стороны главной обмотки и пусковой обмотки, то они должны быть изолированы одна от другой. Для этой цели применяется тонкая полоска летероида или электрокартона, уложенная над первой катушечной стороной. Когда применяется составная коробочка и обе они не связаны одна с другой, то коробочка из лакоткани может быть использована для изоляции между катушечными сторонами. Ее края должны быть отрезаны вровень с открытием паза и загнуты в пазу над нижней катушечной стороной. Для верхней катушечной стороны надо в паз поместить добавочную коробочку из лакоткани. После того как заложена верхняя катушечная сторона, края этой коробочки обрезаются вровень с открытием паза и загибаются. Затем то же самое делается с краями летероидной коробочки и в паз вставляется клин.

Лобовые части катушек главной и вспомогательной об-



моток должны быть изолированы одна от другой. Для этой цели лобовые части вспомогательной обмотки должны быть несколько приподняты и в образовавшиеся промежутки помещены полоски лакоткани или электрокартона.

В 2-полюсном двигателе высота ярма статора больше, чем в 4-полюсном или 6-полюсном двигателе, при одном и том же внешнем диаметре. Поэтому длина вылета лобовых частей его обмотки статора получается относительно большой. Для повышения надежности изоляции следует на обоих торцах 2-полюсного статора поместить выштампованные фибровые листы. Если при перемотке эти листы не могут быть использованы, то к торцам следует прикрепить при помощи шеллака или клея тонкие фибровые листы толщиной 1—1,5 *мм.*

Лобовые части, после того как им придана надлежащая форма, должны быть хорошо укреплены при помощи ленты или шнура.

Статор с готовой обмоткой необходимо пропитать в изоляционном лаке и затем высушивать в течение 4—12 *ч* при температуре 100—120° С. Если применяется эмалированный провод, то желательно пропитку и сушку произвести 2 раза. Если печь для сушки отсутствует, то можно для этой цели использовать электрическую энергию. Главная обмотка присоединяется к сети низкого напряжения и через нее пропускается такой ток, при котором установившаяся температура будет равна приблизительно 100° С. При этом сушка продолжается 6—14 *ч* в зависимости от размеров двигателя.

**11-4. Различные типы таблиц и схем для статора.** Полные сведения об обмотках получим из следующих таблиц и схем соединений:

а) **Таблица распределения.** Она дает число проводников в каждом пазу для всех обмоток, число катушечных сторон в каждом пазу (размеры и изоляцию проводников и число элементарных проводников в одном эффективном). На рис. 11-6 и 11-7 приведены неполные таблицы распределения. Полная таблица распределения для 4-полюсного двигателя с конденсаторным пуском на 370 *вт,* 60 *гц,* 115/230 *в* с шаблонной обмоткой в 36 пазах показана на рис. 11-10. Из этой таблицы получаем следующее:

Главная обмотка состоит из 2 частей (соединяемых последовательно для 230 *в* или параллельно для 115 *в*). Так как машина имеет 4 полюса, то каждая часть обмотки со-

| № паза | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Главная обмотка | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 |

Рис. 11-9. Таблица распределения главной обмотки, показанной на рис. 11-8.

| № паза | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Главная обмотка | 21 | 21 | 12 | | | | 12 | 21 | 21 | 21 | 21 | 12 | | | | 12 | 21 | 21 | 21 | 21 | 12 | | | | 12 | 21 | 21 | 21 | 21 | 12 | | | | 12 | 21 | 21 |
| | 21 | 21 | 12 | | | | 12 | 21 | 21 | 21 | 21 | 12 | | | | 12 | 21 | 21 | 21 | 21 | 12 | | | | 12 | 21 | 21 | 21 | 21 | 12 | | | | 12 | 21 | 21 |
| Пусковая обмотка | | | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | | | | | 24 | 24 | 24 24 | 24 | 24 | | | | | 24 | 24 | 24 24 | 24 | 24 | | | | | 24 | 24 | 24 24 | 24 | 24 | | |

Рис. 11-10. Полная таблица распределения 4-полюсного двигателя с конденсаторным пуском на 370 *вт* с 36 пазами. Главная обмотка имеет 2 части для последовательного и параллельного соединения.



стоит из 4 полюсных групп. Каждая полюсная группа имеет 3 катушки. (Пустые квадратики под номерами пазов указывают, что для данной обмотки пазы свободны, т. е. что данная обмотка не имеет проводников в этих пазах.) Ширина катушки указывается горизонтальной линией с косыми черточками по ее концам. Катушки с наименьшей шириной лежат в пазах *3—7*, *12—16* и т. д. и имеют по 12 проводников; следующие бóльшие катушки лежат в пазах *2—8*, *11—17* и т. д. и имеют по 21 проводнику; катушки с наибольшей шириной лежат в пазах *1—9*, *10—18* и т. д. и имеют по 21 проводнику. Все проводники (эффективные) имеют 1 элементарный проводник. Обе части обмотки выполняются из провода диаметром 1,25 *мм*. Изоляция провода — эмаль и 1 слой хлопчатобумажной обмотки.

Пусковая обмотка также состоит из 4 одинаковых полюсных групп; каждая группа имеет 3 катушки с 24 проводниками. Катушки с наименьшей шириной лежат в пазах *7—12*, *16—21* и т. д.; следующие бóльшие катушки лежат в пазах *6—13*, *15—22* и т. д.; катушки с наибольшей шириной лежат в пазах *5—14*, *14—23* и т. д. Проводник пусковой обмотки состоит из 1 элементарного провода диаметром 0,80 *мм*. Изоляция провода такая же, как и для главной обмотки.

В мотковых обмотках числа косых черточек под номерами пазов, отмечающих ширину линии по концам ее, показывают, сколько раз моток проходит через данный паз (см. рис. 11-6 и 11-7).

Оси катушек главной обмотки (рис. 11-10) проходят через пазы *5*, *14*, *23* и *32*. Оси катушек пусковой обмотки проходят через середины зубцов между пазами *9—10*, *18—19*, *27—28* и *36—1*. Расстояние между осями обеих обмоток равно 4,5 пазового деления. Так как на полюс приходится 9 пазов, то расстояние между осями равно половине полюсного деления, как и должно быть.

**б) Общие схемы соединений.** Таблица распределения показывает, как образуются полюсные группы; схема соединений показывает, как надо соединить между собой полюсные группы, чтобы получились обе обмотки — главная и вспомогательная. Рассмотрим, например, рис. 11-13, на котором представлена схема соединений для 4-полюсной машины с обеими обмотками, имеющими последовательное соединение групп. Каждая полюсная группа представлена дугой. Следовательно, обе обмотки представлены 4 дугами каждая. На этом рисунке, как и на всех

схемах данной главы, внешняя обмотка — главная обмотка, внутренняя — вспомогательная обмотка. Следуя правилу, согласно которому магнитные полярности должны чередоваться от полюса к полюсу вдоль окружности, надо конец первой полюсной группы (*1*) соединить с концом ближайшей следующей полюсной группы (*2*); начало этой полюсной группы надо соединить с началом следующей полюсной группы (*3*) и т. д. Приведенные указания относятся к обеим обмоткам. В каждой обмотке все 4 полюсные группы соединены последовательно. В соответствии с ГОСТ 183-55 выводы обмоток статора однофазных асинхронных двигателей будут обозначаться следующим образом: выводы главной обмотки — *С1* и *С2*, выводы пусковой обмотки — *П1* и *П2*. Пусковой выключатель включается в вывод пусковой обмотки *П1*. Соединения полюсных групп, показанные в центре схем соединений, относятся только к главной обмотке.

На рис. 11-14, на котором также представлена схема соединений 4-полюсной обмотки, главная обмотка имеет параллельные ветви, вспомогательная обмотка выполнена с последовательным соединением групп. Вспомогательная обмотка, следовательно, точно такая же, как и на рис. 11-13. В главной обмотке полюсная группа *1* соединена последовательно с полюсной группой *2*, полюсная группа *3* соединена последовательно с полюсной группой *4*, а обе цепи соединены параллельно и имеют общие выводы *С1* и *С2*. Отметим, что здесь применено поперечное соединение (уравнительное соединение) между средними точками обеих параллельных цепей и что диаметрально противоположные полюсы (*1* и *3*, *2* и *4*) соединены параллельно. Назначение такого соединения — уравнять потоки противоположных полюсов и уменьшить одностороннее магнитное притяжение, которое может вызвать вибрации и шум. Когда обе обмотки имеют параллельные ветви, то вспомогательная обмотка соединяется так же, как и главная обмотка. Рис. 11-11—11-24, приведенные в конце главы, дают общие схемы соединений. Руководствуясь ими, обмотчик может легко начертить аналогичные схемы и для других случаев.

Для обмоток, имеющих параллельные ветви, следует применить поперечные соединения, соединяющие параллельно диаметрально противоположные полюсы.



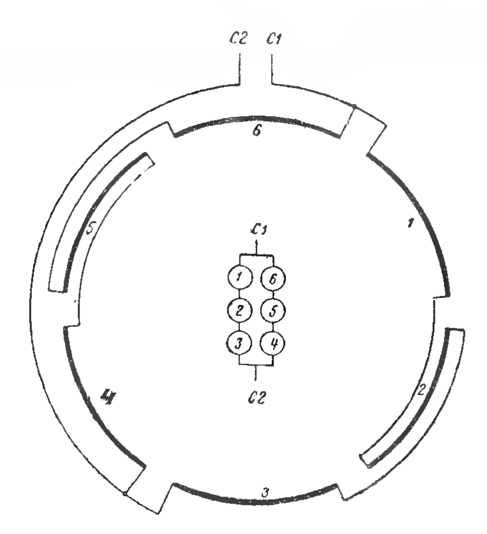



Рис. 11-25а. Главная обмотка для 6 полюсов, соединенная в 2 параллельные ветви (части), без поперечных соединений. Полюсные группы *1*, *2*, *3* и полюсные группы *4*, *5*, *6* соединены последовательно, а обе части соединены параллельно.

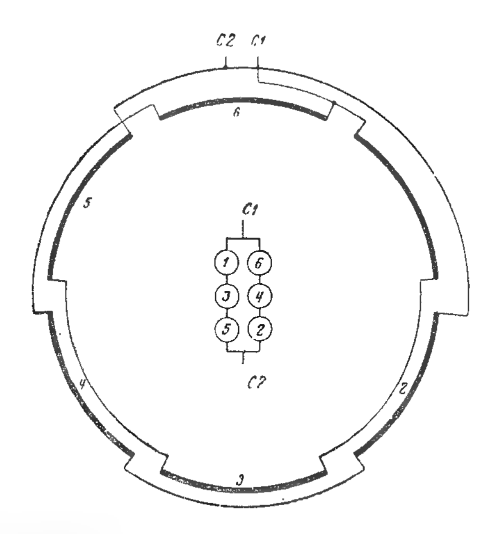



Рис. 11-25б. Главная обмотка для 6 полюсов, соединенная в 2 параллельные ветви (части), без поперечных соединений. Полюсные группы одинаковой полярности соединены последовательно, а обе части соединены параллельно.

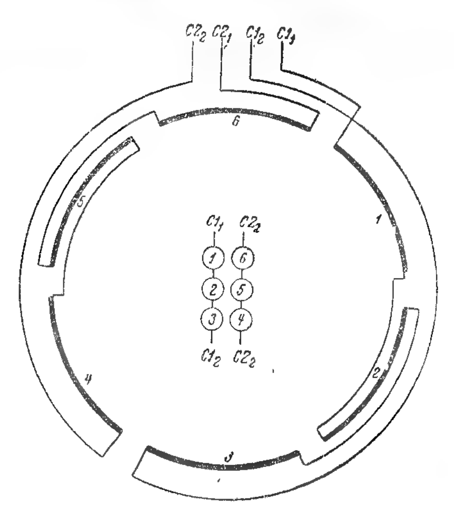



Рис. 11-25в. Главная обмотка для 6 полюсов, выполненная для работы при 2 напряжениях. Полюсные группы *1, 2, 3* соединены последовательно и образуют одну часть обмотки; полюсные группы *4, 5, 6* соединены последовательно и образуют вторую часть обмотки.

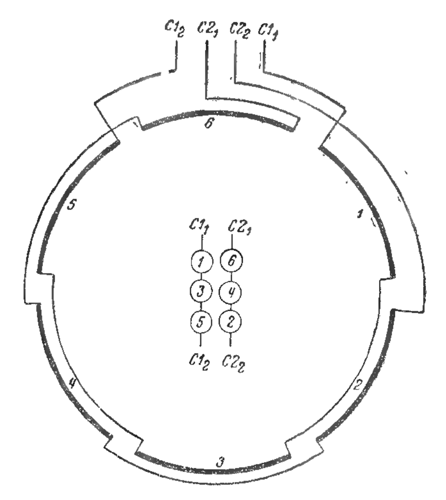



Рис. 11-25г. Главная обмотка для 6 полюсов, выполненная для работы при 2 напряжениях. Полюсные группы *1, 3, 5* соединены последовательно и образуют одну часть обмотки; полюсные группы *2, 4, 6* соединены последовательно и образуют вторую часть обмотки.



На рис. 11-25а показан другой тип параллельного соединения в 6-полюсной обмотке, взятой в качестве примера. В этом случае 3 полюсные группы *1, 2, 3* соединены последовательно с группами *6, 5, 4*, а обе цепи соединены параллельно без уравнительных соединений.

Другой способ осуществления параллельных ветвей показан на рис. 11-25б, где снова в качестве примера взята 6-полюсная обмотка. Обмотка состоит из 2 частей, одна из которых содержит все полюсные группы одной магнитной полярности, соединенные последовательно, тогда как другая содержит все полюсные группы противоположной магнитной полярности, также соединенные последовательно.

Сравним рис. 11-16 с рис. 11-25б или рис. 11-26 (на последнем представлена схема соединений 6-полюсной обмотки, соединенной последовательно). В первом случае соседние полюсы непосредственно соединены последовательно. Во втором случае соединены полюсы, следующие через 1. Согласно ранее приведенному правилу (следующие один за другим полюсы должны иметь противоположные полярности) надо конец первой полюсной группы соединить с началом третьей полюсной группы и т. д. Первый тип соединения (рис. 11-16), наиболее часто применяемый на практике, называется коротким соединением; второй тип называется длинным соединением.

Обмотки на рис. 11-25а и 11-25б могут быть применены для работы при 2 напряжениях, если от каждой части обмотки сделаны выводы, как показано соответственно на рис. 11-25в и 11-25г. Большинство двигателей на 2 напряжения — с расщепленной фазой или репульсионных — соединяется согласно рис. 11-25г. Для работы при 2 напряжениях части обмотки соединяются по схеме, приведенной на рис. 11-32б (см. также § 11-5).

Двигатель с пуском через активное сопротивление имеет это сопротивление, последовательно включенное с пусковым выключателем. Аналогично двигатель с конденсаторным пуском имеет конденсатор, последовательно включенный с пусковым выключателем. Для двигателя с постоянно включенной емкостью пусковой выключатель не требуется; здесь конденсатор присоединяется при включении главного выключателя.

Схемы соединений на рис. 11-11—11-24 имеют 4 вывода, что необходимо для реверсивных двигателей. Если требуется только одно определенное на-

правление вращения, то 4 вывода *С1, С2, П1* и *П2* могут быть соединены попарно внутри машины и на доску с зажимами выведены только 2 вывода. Ниже показано (см. рис. 11-28), что для вращения против движения стрелки часов надо соединить *С1* с *П1* и *С2* с *П2*, а для вращения по движению стрелки часов надо соединить *С1* с *П2* и *С2* с *П1*.

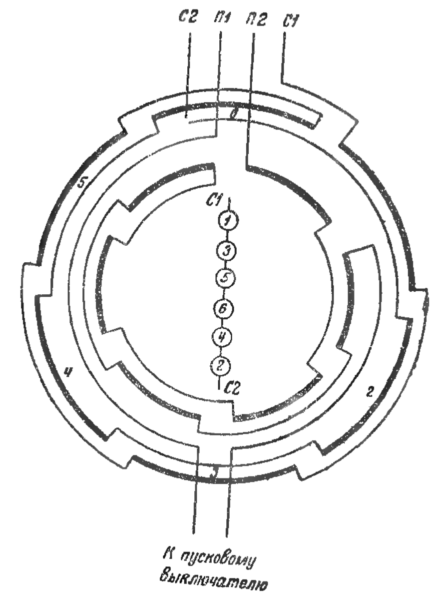



Рис. 11-26. Схема соединений для 6 полюсов при последовательном соединении групп в обеих обмотках (применены длинные соединения между группами).

**в) Схемы двигателей.** Такие схемы показывают внутренние соединения между всеми обмотками, а также соединения обмоток со вспомогательными аппаратами — пусковым выключателем, пусковыми активным и индуктивным сопротивлениями, конденсатором или аппаратами тепловой защиты.

На рис. 11-27—11-32 представлены схемы для различных типов двигателей.

На рис. 11-27 показана схема реверсивного двигателя с расщепленной фазой; на рис. 11-28 показаны схемы присоединения его к сети для вращения против стрелки часов



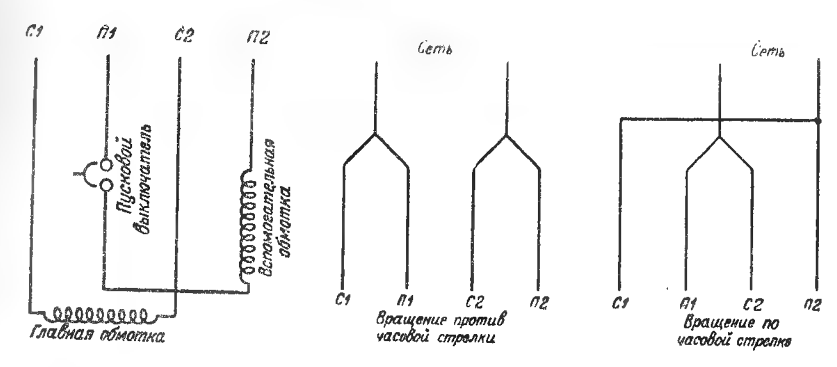



Рис. 11-27. Схема реверсивного двигателя с расщепленной фазой с 4 выводами.

Рис. 11-28. Схемы включения двигателя (рис. 11-27) в сеть для вращения против движения стрелки часов и вращения по движению стрелки часов.

и для вращения по стрелке часов. По американским стандартам направление вращения определяется, если смотреть на машину с передней стороны, за которую принимается сторона, противоположная присоединению машины к рабочему механизму [1]. Направления вращения, указанные на рис. 11-28, правильны только в том случае, если маркировка выводов сделана в соответствии со схемами соединений, приведенных на рис. 11-11—11-24, и если направление вращения определяется со стороны соединений, которые обычно делаются на передней стороне двигателя. Если соединения сделаны на стороне присоединения двигателя к рабочему механизму, то в схеме соединений надо обозначения *С1* и *С2* поменять местами, чтобы направление вращения было согласовано с рис. 11-28 и стандартами. В дальнейшем будет показано (см. § 11-8), как определяется направление вращения: опытным путем или по схеме соединений статора.

В схеме двигателя с расщепленной фазой и пуском через индуктивное сопротивление, приведенной на рис. 11-29, пусковой выключатель отключает пусковую обмотку и в то же время шунтирует индуктивное сопротивление в цепи главной обмотки.

[1] По ГОСТ 183-55 направление вращения определяется, если смотреть на двигатель со стороны присоединения его к рабочему механизму. (Ред.)

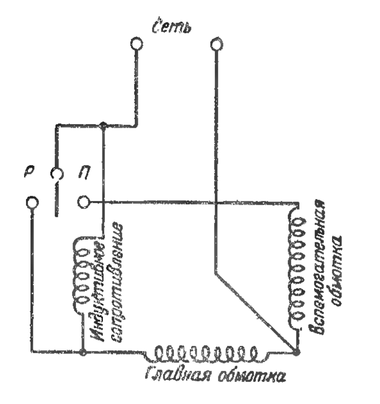



Рис. 11-29. Схема нереверсивного двигателя с расщепленной фазой при пуске через индуктивное сопротивление с 2 выводами.

*Р* — рабочее положение; *П* — пусковое положение.

Рис. 11-30. Схема реверсивного двигателя с конденсаторным пуском с 4 выводами.

На рис. 11-30 представлена схема реверсивного двигателя с конденсаторным пуском. Конденсатор может быть встроен в двигатель или прикреплен к корпусу двигателя снаружи. Схема присоединения его к сети дана на рис. 11-28. Для реверсивного двигателя с конденсаторным пуском можно выполнить такую схему, при которой требуются только 3 внешних вывода вместо 4. Для этого главная обмотка выполняется состоящей из 2 частей, как показано в следующем параграфе, и обе эти части соединяются последовательно. Один конец вспомогательной обмотки присоединяется к средней точке главной обмотки, другой — к конечной точке одной или другой части в зависимости от требуемого направления вращения. Такая схема применяется главным образом для 230 *в*.

На рис. 11-31а и 11-31б даны схемы для конденсаторного двигателя с 2 емкостями — одной для пуска и другой для работы. Изменение емкости производится автоматически и осуществляется или при помощи автотрансформатора (рис. 11-31а), или при наличии 2 отдельных конденсаторов (рис. 11-31б). Схема присоединения к сети дана на рис. 11-28.

Схема конденсаторного двигателя (при 1 емкости) и схема присоединения его к сети — такие же, как для двигателя с конденсаторным пуском (рис. 11-30), но при отсутствии пускового выключателя.



**11-5. Двигатели на 2 напряжения.** Для того чтобы двигатель мог работать при 2 различных напряжениях, например 230 и 115 *в*, главная обмотка должна состоять по крайней мере из 2 частей. Для высшего напряжения (230 *в*) обе части соединяются последовательно; для низшего напряжения (115 *в*) они соединяются параллельно.

Два различных способа выполнения обмотки с 2 частями были показаны ранее на рис. 11-25в и 11-25г. На

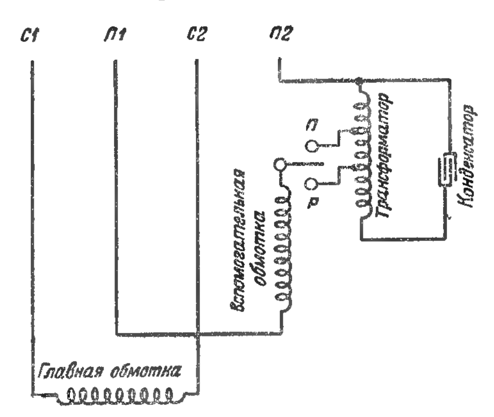



Рис. 11-31а. Схема реверсивного конденсаторного двигателя с 2 емкостями (с трансформатором).

*Р* — рабочее положение; *П* — пусковое положение.

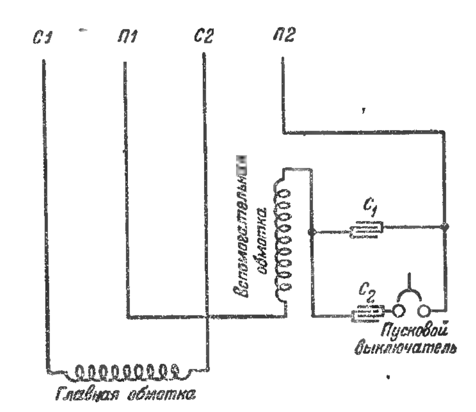



Рис. 11-31б. Схема реверсивного конденсаторного двигателя с 2 емкостями (с 2 конденсаторами).

$C_1$ — масляный конденсатор для рабочего режима; $C_2$ — электролитический конденсатор для пуска.

рис. 11-25г все полюсные группы одной и той же магнитной полярности соединены последовательно, так что каждая часть состоит из полюсных групп, следующих через 1. Имеются еще 2 способа выполнения обмотки с 2 частями. Один из них заключается в том, что часть *1* укладывается в нижних частях пазов, по одной полюсной группе для каждого полюса, точно так же как нормальная обмотка при последовательном соединении полюсных групп. Затем часть *2* наматывается над частью *1* тем же способом и с тем же числом витков, что при расположении вспомогательной обмотки над второй частью даст в результате 3-слойную обмотку. Второй способ заключается в том, что обмотка наматывается 2 параллельными проводниками от 2 катушек с обмоточным проводом, по одному для каждой части обмотки. Когда двигатель работает при высшем напряжении (230 *в*), то между соседними проводами получается половина или даже больше, чем половина, этого напряжения. Поэтому в данном случае следует применять хорошо изолированные провода.

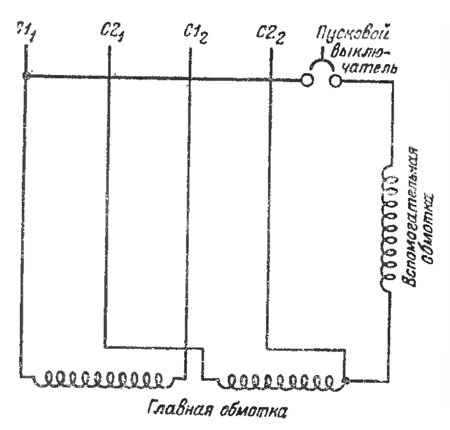



Рис. 11-32а. Схема нереверсивного двигателя с расщепленной фазой на 2 напряжения.

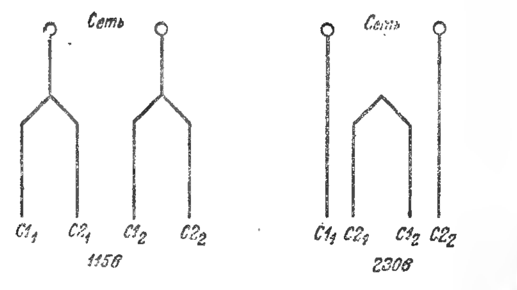



Рис. 11-32б. Схема включения двигателя (рис. 11-32а) в сеть

Двигатели с расщепленной фазой на 2 напряжения в большинстве случаев соединяются или по рис. 11-25г или как при 3-слойном размещении обмоток. В конденсаторных двигателях на 2 напряжения (всех типов) используются главным образом 3-слойное размещение или 2 параллельных провода. В репульсионных двигателях на 2 напряжения более часто применяется соединение по рис. 11-25г.

На рис. 11-32а и 11-32б показаны схема двигателя с расщепленной фазой на 2 напряжения и схема присоединения его к сети. Главная обмотка соединяется согласно рис. 11-25г, а именно последовательно для 230 *в* и параллельно для 115 *в*. Пусковая обмотка присоединяется непосредственно к сети. Когда двигатель включается на низшее напряжение (115 *в*), начальный пусковой момент составляет примерно половину того же момента при высшем напряжении. Поэтому указанное соединение применяется, если двигатель имеет специальную муфту или служит приводом к вентилятору.

Пусковая обмотка может быть также присоединена параллельно к одной части главной обмотки. В этом случае начальный пусковой момент будет один и тот же при обоих напряжениях и более предпочтительным является 3-слойное размещение обмотки.

Нереверсивные конденсаторные двигатели на 2 напряжения обычно имеют пусковую обмотку, присоединенную параллельно к одной части главной обмотки, а главную обмотку при 3-слойном размещении или выполненную из 2 параллельных проводов.

**11-6. Двухскоростные двигатели.** Для изменения скорости 1-фазного двигателя можно применить 3 различных способа. Один состоит в том, что в статоре помещаются 2 полных комплекта обмоток, каждый для различного числа полюсов. Тогда согласно уравнению (1-1) 2 различные скорости получаются при одной и той же частоте сети. Другие 2 способа состоят в изменении напряжения на зажимах двигателя или в изменении числа витков главной обмотки путем ответвлений от нее.

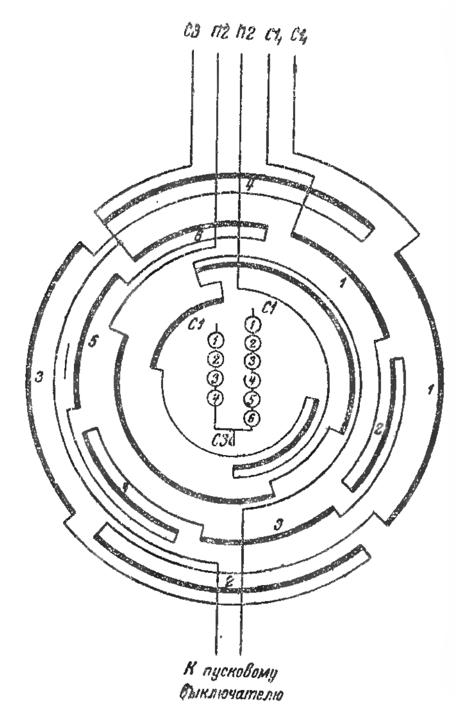



Рис. 11-33. Схема соединений для 2-скоростного (4 и 6 полюсов) двигателя. Внешняя обмотка — 4-полюсная главная обмотка, следующая — 6-полюсная главная обмотка, третья — 4-полюсная вспомогательная обмотка, имеющая только 2 катушечные группы; внутренняя обмотка — 6-полюсная вспомогательная обмотка, имеющая только 2 катушечные группы.

Способ, основанный на использовании 2 комплектов обмоток, применяется главным образом для двигателей с расщепленной фазой и двигателей с конденсаторным пуском; способы, основанные на изменении напряжения или использовании обмотки с ответвлениями, применяются главным образом для конденсаторных двигателей с постоянно включенной емкостью. Обмотка с ответвлениями используется редко.

**а) Двухскоростные двигатели с 2 комплектами обмоток.** Размещение 2 комплектов обмоток, т. е. 2 главных обмоток и 2 вспомогательных обмоток, требует значительного увеличения размеров. Для того чтобы уменьшить эти размеры,



часто применяется соединение для вспомогательной или низкоскоростной обмотки, при котором число катушечных групп получается меньше числа полюсов (см. § 11-2).

На рис. 11-33 показана схема соединений обмоток для 4 и 6 полюсов (примерно 1 435 и 950 *об/мин* при 50 *гц*).

Внешняя обмотка — 4-полюсная главная обмотка. Следующая — 6-полюсная главная обмотка. Третья — 4-полюсная вспомогательная обмотка, имеющая только 2 катушечные группы. Внутренняя обмотка — 6-полюсная вспомогательная обмотка, имеющая также только 2 катушечные группы.

На рис. 11-33 обе вспомогательные обмотки имеют уменьшенное число катушечных групп. Можно также и главную обмотку сделать такого же типа. Рассмотрим 2 примера. Статорная обмотка для 4 и 8 полюсов может иметь нормальную 4-полюсную главную обмотку и 3 другие обмотки с уменьшенным числом катушечных групп, т. е. 8-полюсную главную обмотку с 4 катушечными группами, 4-полюсную вспомогательную обмотку с 2 катушечными группами и 8-полюсную вспомогательную обмотку с 4 катушечными группами. Статорная обмотка для 6 и 8 полюсов может иметь нормальную 6-полюсную главную обмотку, две 8-полюсные обмотки с уменьшенным числом групп, т. е. 8-полюсную главную обмотку и 8-полюсную вспомогательную обмотку с 4 полюсными группами каждая, а 6-полюсную вспомогательную обмотку с 2 катушечными группами, как показано на рис. 11-33. 6-полюсная вспомогательная обмотка может быть также выполнена в виде нормальной обмотки, т. е. с 6 катушечными группами.

На рис. 11-34 показана схема 2-скоростного двигателя с расщепленной фазой с 2 обмотками и здесь же показано присоединение его к сети. Соединения выполнены таким образом, что требуется только 1 пусковой выключатель. Этот пусковой выключатель должен выключаться при 75—80% синхронной скорости низкоскоростной обмотки.

Если схема, показанная на рис. 11-34, применяется для двигателя с конденсаторным пуском, то используется или 1 конденсатор, соединенный последовательно с пусковым выключателем, или 2 конденсатора, 1 из которых соединяется последовательно с выводом *П2*, а другой — с выводом $П2_1$.

Если двигатель всегда можно пускать при соединении, соответствующем одной и той же скорости, то одна из вспо-

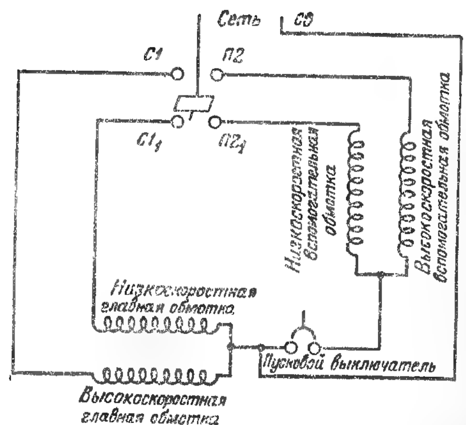



Рис. 11-34. Схема 2-скоростного двигателя с расщепленной фазой с 2 обмотками и схема включения его в сеть.

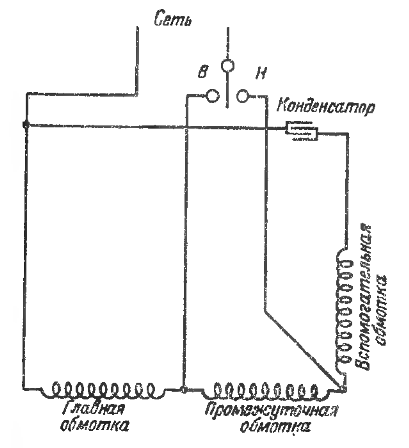



Рис. 11-35. Схема L-образного соединения 3 обмоток 2-скоростного двигателя.

*Н* — низшая скорость; *В* — высшая скорость.

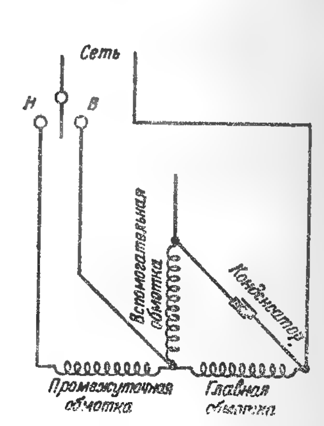



Рис. 11-36. Схема Т-образного соединения 3 обмоток 2-скоростного двигателя.

*Н* — низшая скорость; *В* — высшая скорость.



могательных обмоток может быть исключена. Пуск в этом случае частично или полностью автоматизируется.

**б) Двухскоростные двигатели при обмотках с ответвлениями.** Ранее было указано, что скорость однофазного двигателя может быть изменена или путем изменения напряжения на его зажимах, или путем изменения числа витков его главной обмотки. Первый способ делает необходимым применение автотрансформатора и используется главным образом для конденсаторных двигателей с постоянно включенной емкостью, имеющих на валу вентилятор. При автотрансформаторе можно получить и больше, чем 2 скорости.

Изменение числа витков главной обмотки получается путем ответвлений от нее. Статор тогда имеет 3 обмотки: главную, промежуточную и вспомогательную. Первые 2 обмотки имеют одну и ту же магнитную ось, т. е. промежуточная обмотка наматывается в тех же пазах, что и главная обмотка (над ней). Два общих способа соединения 3 обмоток—это L-образное и Т-образное соединения. Схематически эти 2 соединения показаны на рис. 11-35 и 11-36. L-образное соединение используется главным образом для двигателей 115 *в*, в то время как Т-образное соединение—для двигателей 230 *в*. В обоих случаях на конденсаторе будет около 300 *в*. Если L-образное соединение используется для 230 *в*, то на конденсаторе будет около 500 *в*.

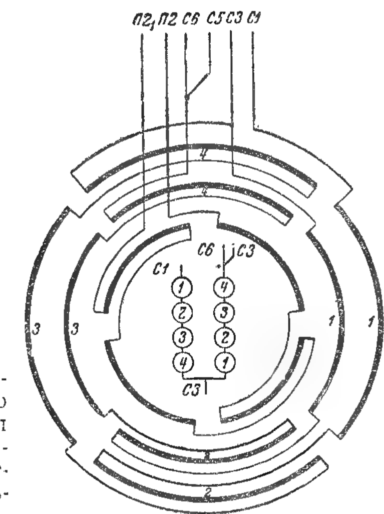



Рис. 11-37. Схема соединений 2-скоростного 4-полюсного двигателя при L-образном соединении обмоток. Все обмотки имеют последовательное соединение групп.

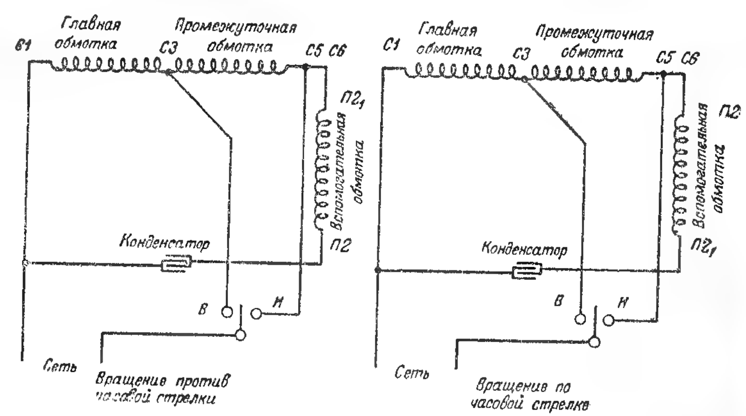



Рис. 11-38. Схема двигателя (рис. 11-37) и схема включения его в сеть.

*В* — высшая скорость; *Н* — низшая скорость.

На рис. 11-37 показана схема обмоток для 4-полюсного двигателя при L-образном соединении со всеми 3 обмотками, соединенными последовательно. Схемы обмоток для 6, 8 и 10 полюсов при L-образном соединении и всеми обмотками, соединенными последовательно, будут такими же, как на рис. 11-37, но число полюсных групп в каждой из 3 обмоток будет соответственно 6 или 8, или 10. На рис. 11-38

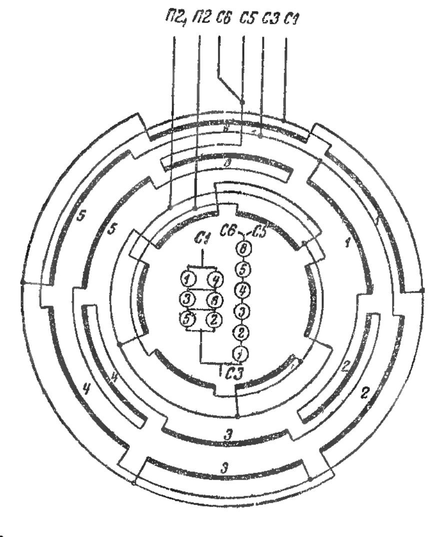



Рис. 11-39. Схема соединений 2-скоростного 6-полюсного двигателя при L-образном соединении обмоток. Главная и вспомогательная обмотки соединены в 2 параллельные ветви, промежуточная обмотка соединена последовательно.



показана схема двигателя, соответствующая рис. 11-37. На рис. 11-39 представлена схема обмоток для 6 полюсов при L-образном соединении, в котором главная и вспомогательная обмотки имеют параллельные ветви, а промежуточная обмотка соединена последовательно.

Для Т-образного соединения могут быть использованы те же схемы обмоток, но надо сделать внутреннее соединение *С6* с *С3*, а не с *С5*.

**11-7. Репульсионные двигатели.** Репульсионные двигатели пускаются в ход при наличии в роторе якорной обмотки постоянного тока, соединенной с коллектором и короткозамкнутыми щетками. Следовательно, здесь не требуется пусковая обмотка. Статорная обмотка обычно выполняется в виде ручной или шаблонной обмотки с концентрическими или распределенными катушками (см. рис. 11-1 и 11-3). Некоторые из пазов статора не имеют полного заполнения. Схемы соединений для статора — такие же, как и приведенные ранее для главной обмотки однофазных двигателей. Если используется 1 напряжение, то можно применить схемы главной обмотки, показанные на рис. 11-11—11-24. Если используются обмотки при 2 параллельных ветвях, то часто применяется схема в виде представленной на рис. 11-25б. Для двигателей на 2 напряжения наиболее часто применяется схема, соответствующая показанной на рис. 11-25г. В обоих случаях полюсные группы, следующие через одну, соединяются последовательно для каждой ветви или части обмотки.

Схемы репульсионного двигателя на 2 напряжения — такие же, как для двигателя с расщепленной фазой, за исключением того, что здесь вспомогательная обмотка и пусковой выключатель отсутствуют.

**11-8. Предопределение направления вращения и реверсирование двигателей с расщепленной фазой.** Вначале следует отметить, что направление вращения ротора всегда будет от полюса вспомогательной обмотки некоторой полярности к ближайшему полюсу главной обмотки той же самой полярности. На этой основе можно применить следующие 2 метода для предопределения направления вращения при использовании только статора. При первом методе используется опыт, при втором — схема соединений обмоток статора.

а) Опыт осуществляется следующим образом: замыкаются накоротко 2 зажима пускового выключателя, соеди-

няются главная и вспомогательная обмотки и 2 вывода подключаются к сети переменного тока; затем внутри статора на нитке подвешивается небольшой кусок проволоки из мягкой стали длиной около 30 *мм* и зажимы пускового выключателя размыкаются; тогда проволока сдвинется в направлении вращения. Если для питания обмоток применяется ток частотой 500 *гц*, то следует взять напряжение, не превышающее половины номинального. Если применяется бóльшая или меньшая частота, то приложенное напряжение должно быть пропорционально больше или меньше. Подвешенная проволока не должна касаться стали статора. Если ток в обмотках слишком велик, то лучше проволоку подвесить вне стали статора — над лобовыми частями обмоток.

б) Обратимся к схеме соединений, представленной на рис. 11-13. Предположим, что выводы *С1* и *П1* соединены между собой и что ток через *С1* и *П1* входит в обе обмотки. Тогда ток в первой полюсной группе главной обмотки будет проходить по стрелке часов. Ток, протекающий от *П1* через пусковой выключатель, также проходит по стрелке часов через первую полюсную группу вспомогательной обмотки. Таким образом, первые полюсные группы обеих обмоток имеют одну и ту же магнитную полярность и направление вращения будет против стрелки часов, так как вращение всегда происходит от полюса вспомогательной обмотки по направлению к ближайшему полюсу главной обмотки той же самой полярности. Если *С1* соединить с *П2* (вместо *П1*), то направление вращения будет по стрелке часов. Отметим, что выбор направления тока из сети не влияет на полученные результаты.

Из предыдущего следует, что для реверсирования 1-фазного двигателя направление тока во вспомогательной обмотке по отношению к направлению тока в главной обмотке должно быть изменено на обратное. Таким образом, если на рис. 11-14, например, *С1* соединить с *П1* и *С2* с *П2*, то вращение будет против стрелки часов; если *С1* соединить с *П2* и *С2* с *П1*, то вращение будет по стрелке часов (см. рис. 11-28). Отметим, что направление вращения определяется со стороны концевых соединений (см. § 11-4 в).

**11-9. Пересоединение или перемотка двигателя с расщепленной фазой для другого напряжения при сохранении номинальной мощности.** Если напряжение двигателя с расщепленной фазой изменяется с 230 на 115 *в* и обе обмотки соединены последовательно, то они должны быть пересоединены на параллельное соединение. Если напряжение уменьшается в 2 раза и обе обмотки имели параллельные соединения, то обе обмотки должны быть заменены другими с числом витков, в 2 раза меньшим, и сечением провода, в 2 раза бóльшим, чем для первоначальных обмоток.



Если напряжение изменяется с 115 на 230 *в* и обе обмотки имеют последовательные соединения, то обе обмотки должны быть заменены другими с числом витков, в 2 раза бóльшим, и сечением провода, в 2 раза меньшим, чем для первоначальных обмоток. Если напряжение изменяется с 115 на 230 *в* и главная обмотка имеет параллельные соединения, в то время как вспомогательная обмотка имеет последовательные соединения, то главная обмотка пересоединяется на последовательные соединения, а вспомогательная обмотка должна быть заменена другой обмоткой с увеличенным вдвое числом витков и уменьшенным вдвое сечением провода. Вспомогательная обмотка может быть использована, если двигатель перематывается на 2 напряжения и вспомогательная обмотка присоединена параллельно к одной части главной обмотки (см. § 11-5). Не всегда можно изменить напряжение двигателя с 230 на 440 *в* из-за недостаточной надежности пускового выключателя.

Если напряжение изменяется не в 2 раза, а на некоторую величину, то необходимое число витков может быть определено по уравнению (10-1). Так как номинальные величины двигателя не должны измениться, то поток на полюс должен сохранить свое значение, т. е. число витков должно быть изменено в том же отношении, в каком изменилось напряжение. Обозначим через $U$ первоначальное напряжение и через $U'$ новое напряжение; тогда число витков обеих обмоток (главной и вспомогательной) должно быть равно

$$\frac{U'}{U} \times \text{число витков старой обмотки}$$

и площадь поперечного сечения провода должна быть равна

$$\frac{U}{U'} \times \text{сечение провода старой обмотки}$$

или возможно более близка к этому значению.

Как правило, различие размеров провода для вспомогательной и главной обмоток сохраняется в перемотанном двигателе тем же самым, что и в первоначальном двига-

теле. При перемотке сечение провода для главной обмотки следует брать как можно бо́льшим, но это необязательно для вспомогательной обмотки.

**11-10. Пересоединение или перемотка двигателя с конденсаторным пуском на другое напряжение при сохранении номинальной мощности.** Если напряжение двигателя с конденсаторным пуском изменяется с 230 на 115 *в*, а обе обмотки имели последовательные соединения, то обе обмотки пересоединяются на параллельные соединения. При этом может быть использован способ получения параллельных ветвей, показанный на рис. 11-25г, т. е. обмотка может быть разделена на 2 части, в каждую из которых входят следующие через одну полюсные группы. Если напряжение уменьшается в 2 раза и обе обмотки имели параллельные соединения, то обе обмотки должны быть заменены другими обмотками с числом витков, в 2 раза меньшим, и сечением провода, в 2 раза бо́льшим, чем для первоначальных обмоток. В обоих случаях — при пересоединениях или перемотке — при 115 *в* необходимо использовать конденсатор емкостью (микрофарады), в 4 раза большей, чем при 230 *в*. Если двигатель имеет вспомогательную обмотку, 1 конец которой присоединяется к промежуточной точке главной обмотки (см. § 11-4в), и напряжение уменьшается в 2 раза, то на параллельные соединения надо перейти только в 2 частях главной обмотки, тогда как вспомогательная обмотка и конденсатор могут быть оставлены неизменными. В этом случае двигатель будет нереверсивным.

Если напряжение изменяется с 115 на 230 *в* и обе обмотки имели последовательные соединения, то они должны быть заменены другими обмотками с числом витков, в 2 раза бо́льшим, и сечением, в 2 раза меньшим, чем у первоначальных обмоток, а конденсатор должен быть заменен конденсатором на емкость, составляющую $^1/_4$ емкости при 115 *в* Первоначальные конденсатор и вспомогательная обмотка могут быть использованы, если двигатель перематывается для 2 напряжений или если он имел присоединение вспомогательной обмотки к промежуточной точке главной обмотки; в этом случае каждая часть главной обмотки должна иметь то же самое число витков, что и обмотка на 115 *в*, а сечение провода должно быть равно половине сечения первоначального провода. Если главная обмотка намотана 2 параллельными проводами (см. § 11-5), то увеличение напряжения в 2 раза может быть получено при последовательном соединении этих проводов или использовании присоединения



вспомогательной обмотки к промежуточной точке главной обмотки. Следует, однако, перед последовательным соединением проводов опытным путем проверить их изоляцию, установив между ними напряжение порядка 500 *в*.

Если напряжение удваивается и обе обмотки имеют параллельные соединения, то обе обмотки пересоединяются на последовательные соединения, а конденсатор при 230 *в* должен иметь емкость, составляющую $^1/_4$ емкости конденсатора при 115 *в*.

Если напряжение изменяется с 230 на 440 *в*, то должно быть использовано только соединение на 2 напряжения или присоединение вспомогательной обмотки к промежуточной точке главной обмотки; при этом следует иметь в виду новые условия работы выключателя и конденсатора.

Были рассмотрены уменьшение и увеличение напряжения в 2 раза. Для общего случая изменения напряжения применимы те же правила в отношении числа витков обеих обмоток и площади поперечного сечения провода, что и приведенные в предыдущем параграфе для двигателя с расщепленной фазой. Емкость конденсатора должна быть равна $\left(\frac{U}{U_1}\right)^2$ ×емкость первоначального конденсатора.

**11-11. Пересоединение или перемотка конденсаторного двигателя с 1 и 2 емкостями на другое напряжение при сохранении номинальной мощности.** Для конденсаторного двигателя применимы те же правила, что и для двигателя с конденсаторным пуском. Изменение напряжения конденсаторного двигателя с 2 емкостями в большинстве случаев приводит к необходимости изменения элементов схемы, состоящих или из конденсатора и автотрансформатора (рис. 11-31а), или из 2 конденсаторов (рис. 11-31б). Поэтому рекомендуется делать только такие изменения напряжения, которые позволяют использовать указанные элементы схемы без изменения. Такой случай может быть, например, если конденсаторный двигатель с 2 емкостями перематывается со 115 на 230 *в*. Тогда может быть применено соединение на 2 напряжения или промежуточное присоединение вспомогательной обмотки, что потребует перемотать только главную обмотку. Каждая ее часть должна иметь то же число витков, что и главная обмотка на 115 *в* с сечением провода, в 2 раза меньшим, чем у первоначальной обмотки. Вспомогательная обмотка и элементы с конденсаторами остаются при этом без изменения. Если главная обмотка со-

стоит из 2 параллельных проводов (в 1 эффективном проводнике), то каждый провод может быть использован как часть обмотки. Однако перед последовательным соединением частей следует проверить изоляцию между проводами, приложив к ним напряжение около 500 *в*.

Если 2-скоростной конденсаторный двигатель при обмотке с ответвлениями и с L-образным соединением должен быть изменен со 115 на 230 *в*, то необходимы следующие изменения: числа витков главной и промежуточной обмоток должны быть в 2 раза больше, а сечение провода в 2 раза меньше, чем у первоначальных обмоток; перемотанный двигатель должен иметь Т-образное соединение. Если главная обмотка имеет параллельные соединения, то она может быть без перемотки пересоединена на последовательные соединения.

Если 2-скоростной конденсаторный двигатель при обмотке с ответвлениями и с Т-образным соединением должен быть изменен с 230 на 115 *в*, то необходимы следующие изменения: числа витков главной и промежуточной обмоток должны быть в 2 раза меньше, а сечение провода в 2 раза больше, чем у первоначальных обмоток; перемотанный двигатель должен иметь L-образное соединение. Если главная и промежуточная обмотки имеют последовательные соединения, то они могут быть без перемотки пересоединены на параллельные соединения.

**11-12. Перемотка на другой максимальный момент при том же напряжении.** При данных напряжении и частоте максимальный вращающий момент двигателя с расщепленной фазой и с конденсаторным пуском изменяется приблизительно обратно пропорционально квадрату числа витков главной обмотки. Например, для увеличения максимального момента на 20% число витков главной обмотки должно быть уменьшено приблизительно на 10%. Однако при изменении числа витков главной обмотки изменяются поток на полюс [см. уравнение (10-1)] и токи в обмотках статора и ротора, что приводит к изменению потерь в стали и меди, от которых зависит нагревание обмоток. Поэтому до перемотки двигателя на другой максимальный момент необходимо экспериментально определить, не получатся ли полные потери слишком большими. Возможность такого опыта обусловлена тем фактом, что максимальный момент приблизительно пропорционален квадрату напряжения на зажимах двигателя. Если, например, напряжение возрастает на 10%, то максимальный момент возрастет на 20%. Следовательно,



если желательно иметь увеличение максимального момента на 20%, то надо экспериментально определить потребляемую мощность двигателя при 110% номинального напряжения. Если эта потребляемая мощность заметно выше той же мощности при номинальном напряжении, то следует произвести измерение температуры в условиях работы с нагрузкой при 110% номинального напряжения. Температура окружающей среды и температура обмотки в ее наиболее нагретой и доступной точке должны быть измерены после того, как температура обмотки сделается постоянной. Превышение температуры, т. е. разность температуры обмотки и температуры окружающей среды, не должно быть выше 40° С при открытой конструкции и не выше 55° С при закрытой конструкции.

Если необходимо увеличить максимальный момент двигателя с конденсаторным пуском, то это должно быть сделано в ограниченных пределах, в противном случае срок работы конденсатора может заметно сократиться. В случае конденсаторных двигателей при перемотке их на повышенный максимальный момент следует запросить указаний от завода-изготовителя.

**11-13. Перемотка на другую частоту.** Приведенные здесь правила применимы только к двигателям с расщепленной фазой. При необходимости перемотки конденсаторного двигателя на другую частоту рекомендуется обратиться за указаниями к заводу-изготовителю.

Если частота двигателя с расщепленной фазой изменяется с 50 на 60 *гц* и требуемые моменты не слишком высоки, то в обычных случаях нет необходимости изменять обмотки и выключатель. При изменении с 60 на 50 *гц* также обычно не требуется изменять обмотки двигателей общего применения. Однако в случае двигателя с высокими моментами может возникнуть необходимость в увеличении числа витков на 10%, чтобы не получилось чрезмерного превышения температуры. Когда производится изменение с 60 на 50 *гц*, то должна быть изменена вращающаяся часть пускового выключателя.

Для бóльших изменений частоты, чем с 50 на 60 *гц* и обратно, числа витков обеих обмоток должны быть изменены, а пусковой выключатель необходимо подобрать для новой скорости вращения.

**11-14. Перевод двигателя с расщепленной фазой на схему двигателя с конденсаторным пуском.** Начальный пусковой момент двигателя с расщепленной фазой может

быть повышен или его начальный пусковой ток уменьшен путем включения конденсатора (электролитического) в цепь вспомогательной обмотки. При правильно подобранном конденсаторе начальный пусковой момент может быть повышен на 100% и начальный пусковой ток уменьшен до 40%. Емкость такого конденсатора должна определяться опытным путем.

**11-15. Перевод двигателя с конденсаторным пуском на схему двигателя с расщепленной фазой.** Если двигатель с конденсаторным пуском должен быть использован как двигатель с расщепленной фазой, то обычно конденсатор заменяется активным сопротивлением. При отсутствии конденсатора и активного сопротивления в цепи вспомогательной обмотки начальный пусковой момент будет очень мал. Активное сопротивление при этом также уменьшает начальный пусковой ток. Сопротивление для получения максимального начального пускового момента должно быть определено опытным путем. Нормально внешнее сопротивление для получения указанного момента в 1—2 раза больше омического сопротивления вспомогательной обмотки.

**11-16. Перевод конденсаторного двигателя с 2 емкостями и автотрансформатором на схему двигателя с конденсаторным пуском.** Путем замены автотрансформатора с конденсатором 1 электролитическим конденсатором можно перевести конденсаторный двигатель с 2 емкостями на схему двигателя с конденсаторным пуском. Емкость электролитического конденсатора может быть приближенно определена следующим образом. Вначале определяется отношение чисел витков автотрансформатора в пусковой схеме путем измерения напряжений или подсчетом витков, если это возможно. Тогда емкость электролитического конденсатора будет составлять 80—90% емкости, равной

*(отношение чисел витков)*$^2 \times$*емкость первоначального конденсатора.*

Следует отметить, что двигатель при работе в качестве двигателя с конденсаторным пуском будет иметь пониженный на 10—25% максимальный момент, а потери его при полной нагрузке и, следовательно, нагревание обмоток будут более высокими. К тому же при более высоких напряжениях срок работы электролитического конденсатора может заметно сократиться.



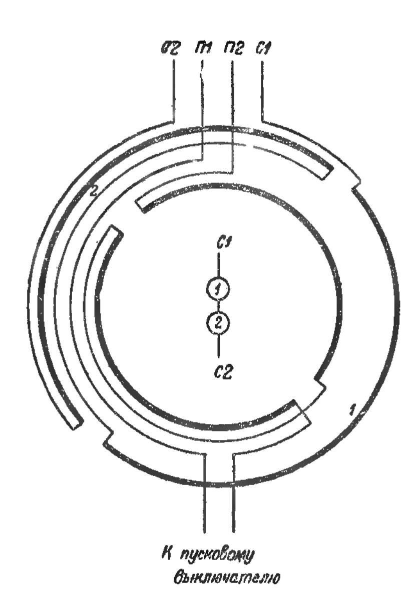



Рис. 11-11. Схема соединений для 2 полюсов; главная и вспомогательная обмотки имеют последовательное соединение групп.

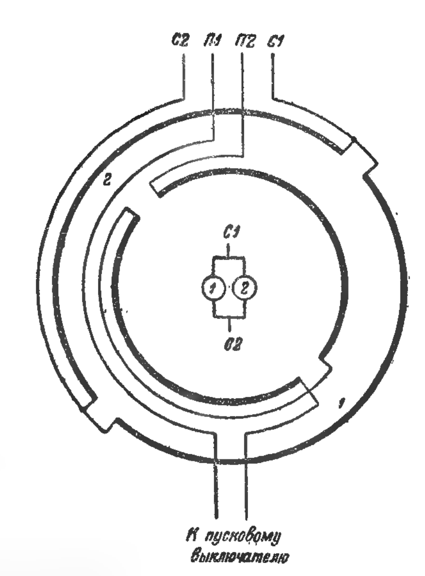



Рис. 11-12. Схема соединений для 2 полюсов; главная обмотка соединена в 2 параллельные ветви, вспомогательная обмотка — последовательно.

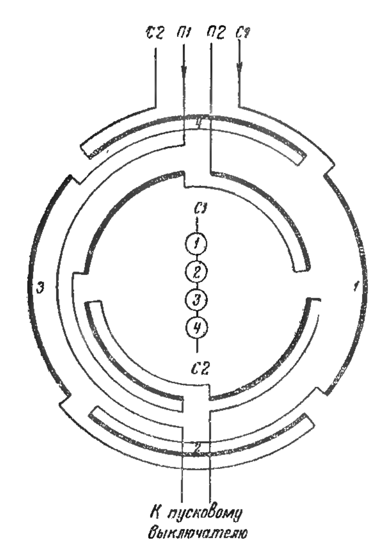



Рис. 11-13. Схема соединений для 4 полюсов; обе обмотки имеют последовательное соединение групп.

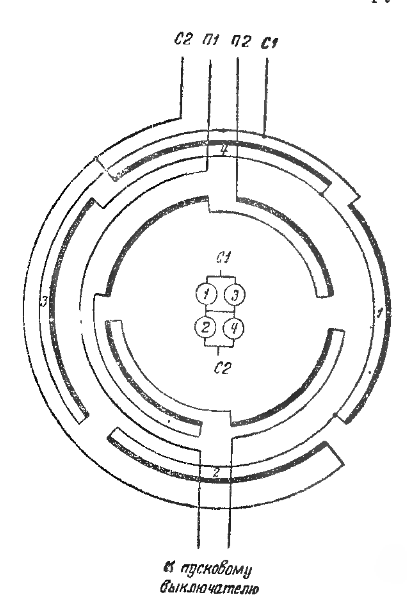



Рис. 11-14. Схема соединений для 4 полюсов; главная обмотка соединена в 2 параллельные ветви, вспомогательная обмотка — последовательно.



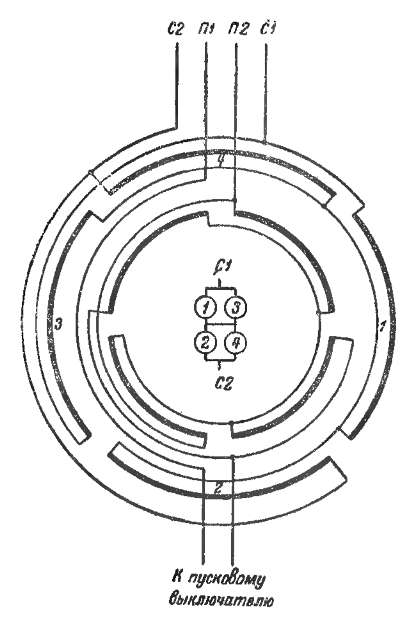



Рис. 11-15. Схема соединений для 4 полюсов; обе обмотки соединены в 2 параллельные ветви.

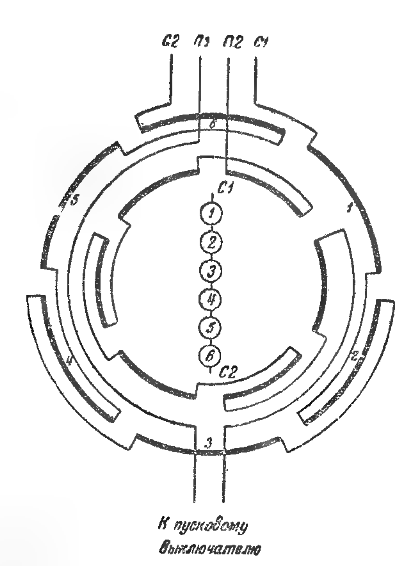



Рис. 11-16. Схема соединений для 6 полюсов; обе обмотки имеют последовательное соединение групп.

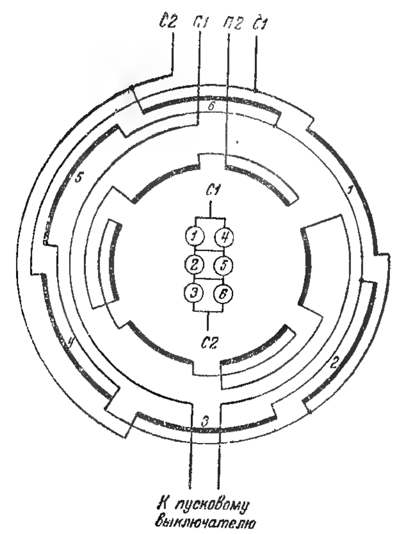



Рис. 11-17. Схема соединений для 6 полюсов; главная обмотка соединена в 2 параллельные ветви, вспомогательная обмотка — последовательно.

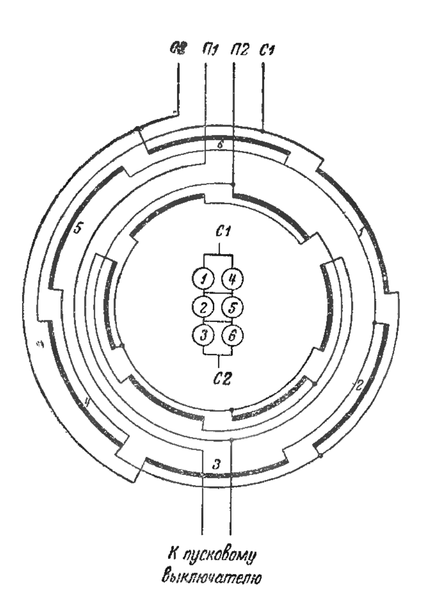



Рис. 11-18. Схема соединений для 6 полюсов; обе обмотки соединены в 2 параллельные ветви.



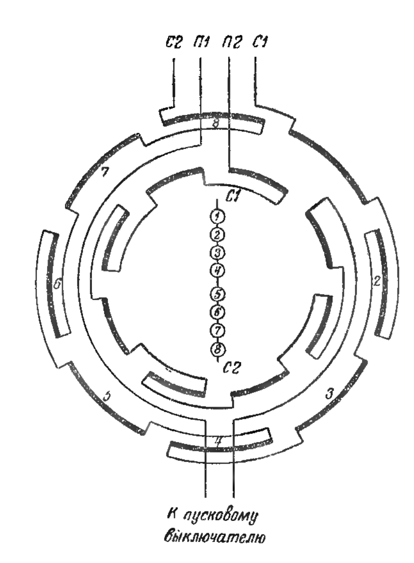



Рис. 11-19. Схема соединений для 8 полюсов; обе обмотки имеют последовательное соединение групп.

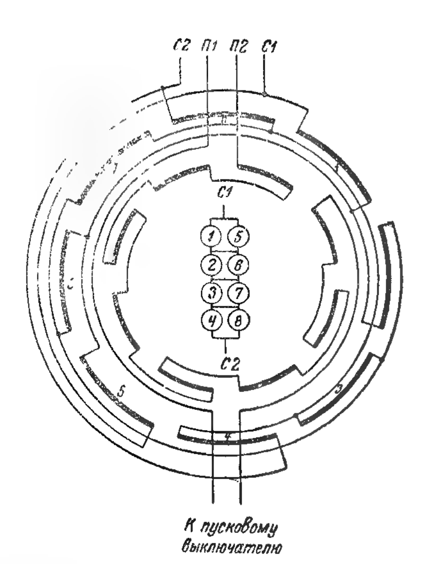



Рис. 11-20. Схема соединений для 8 полюсов; главная обмотка соединена в 2 параллельные ветви, вспомогательная обмотка — последовательно.

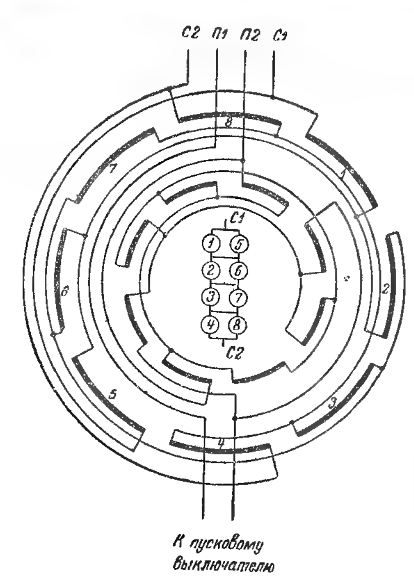



Рис. 11-21. Схема соединений для 8 полюсов; обе обмотки соединены в 2 параллельные ветви.

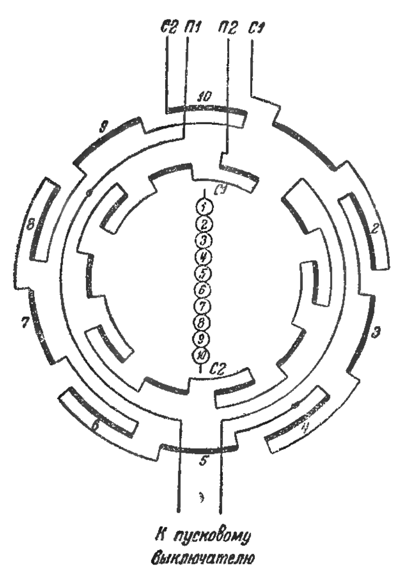



Рис. 11-22. Схема соединений для 10 полюсов; обе обмотки имеют последовательное соединение групп.



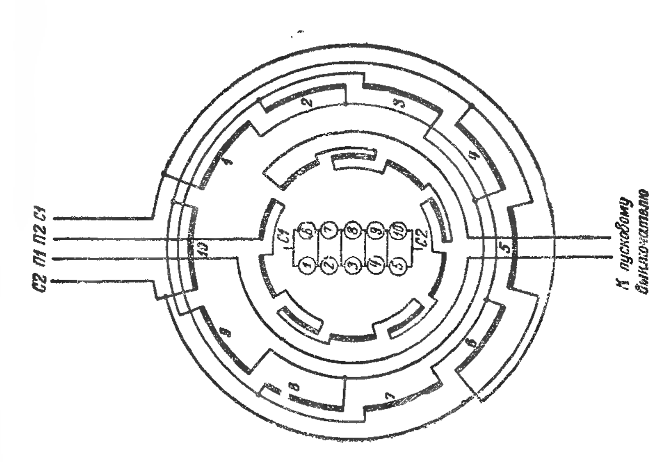



Рис. 11-23. Схема соединений для 10 полюсов; главная обмотка соединена в 2 параллельные ветви, вспомогательная обмотка — последовательно.

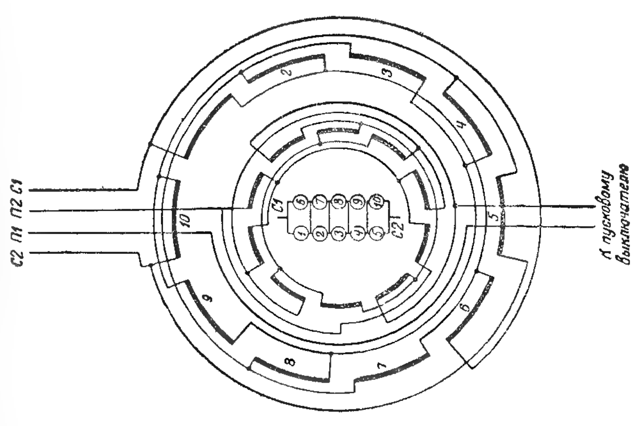



Рис. 11-24. Схема соединений для 10 полюсов; обе обмотки соединены в 2 параллельные ветви.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

# НЕИСПРАВНОСТИ ОБМОТОК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Наиболее часто встречающиеся неисправности обмоток переменного тока — это замыкания на корпус («на землю»), короткие замыкания, ошибочные соединения и разрывы цепей. В данной главе рассматриваются эти неисправности или повреждения и указываются способы отыскания мест повреждения. В конце главы приводится сводная таблица с перечислением многих неисправностей.

**12-1. Замыкание на корпус.** Замыкание на корпус представляет собой образование контакта между медью проводника и сталью. Если сопротивление контакта мало, то повреждение может быть определено при помощи контрольной лампы (рис. 12-1), один провод от которой соединяется с зачищенным металлом корпуса статора, а другой — с медью (зажим или наконечник), или при помощи мегомметра. Если сопротивление контакта велико, то между корпусом и медью устанавливается более высокое напряжение (до 2 000 *в*). При высоком напряжении место контакта будет нагреваться и может быть обнаружено вследствие появления дыма или электрической дуги. Иногда бывает необходимо разомкнуть обмотку в некоторых точках и отдельно исследовать каждую часть обмотки, как показано на рис. 12-2 и 12-3.

**12-2. Короткие замыкания.** Один или несколько витков могут быть замкнуты накоротко в одной или нескольких катушках, а также полная катушка может быть замкнута накоротко на ее концах. Если двигатель находится в работе, то короткозамкнутые витки или катушки будут перегреваться и часто могут быть определены на ощупь со стороны лобовых частей. К такому способу не следует прибегать в случае машин высокого напряжения. Если вытащить ротор, то можно использовать специальный прибор.



Передвигая этот прибор внутри сердечника статора вдоль окружности, короткозамкнутые витки или катушки найдем по увеличению тока в первичной обмотке прибора. Они могут быть также найдены при помощи полоски из листовой стали, которая будет притягиваться в местах, где лежат короткозамкнутые витки или катушки, или по нагреву этих мест. Внутренний специальный прибор может быть использован только в том случае, когда обмотка соединена в звезду при последовательном соединении групп. Для

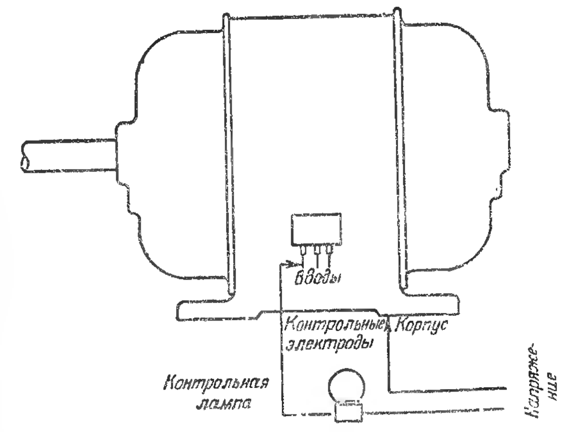



Рис. 12-1. Проверка замыкания на корпус при помощи контрольной лампы.

использования этого прибора при обмотках статора, имеющих параллельные ветви, необходимо все эти ветви разомкнуть.

Другой метод отыскания мест повреждения состоит в том, что обмотку питают переменным током (лучше повышенной частоты — до 400 *гц*) и прикладывают кусок стали к сердечнику статора вдоль его окружности. Место повреждения будет под полюсом, где притяжение куска стали будет заметно слабее, чем под другими полюсами.

Короткое замыкание полной полюсно-фазной группы может быть также обнаружено при помощи компаса. Для этой цели обмотку питают постоянным током, равным приблизительно $1/3$ номинального переменного тока. Компас передвигают вдоль окружности сердечника статора и отмечают северный и южный полюсы (рис. 12-4). Отметки покажут, исправна обмотка или нет. При 2-фазных об-

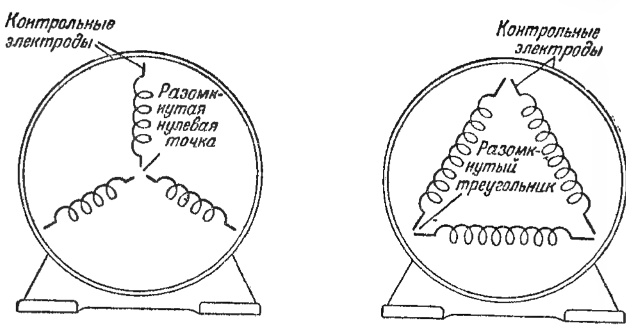



Рис. 12-2. Если опыт по рис. 12-1 показывает наличие замыкания на корпус, то обмотка должна быть разомкнута, как показано, и каждая фаза испытана отдельно для определения фазы, замкнутой на корпус.

мотках отметки должны делаться при отдельном питании каждой фазы. При 3-фазных обмотках, соединенных в звезду, отметки надо сделать 3 раза. Положительный полюс источника постоянного тока надо по очереди присоединять к выводам, а его отрицательный полюс присоединить к нулевой точке обмотки. Отметки для каждой фазы должны начинаться от вывода фазы. Если в результате нанесения отметок северный и южный полюсы будут чередоваться вдоль окружности сердечника статора, то это показывает, что обмотка не имеет короткозамкнутых полюсно-фазных групп. При 3-фазных обмотках, соединенных треугольником, одна из вершин треугольника должна быть

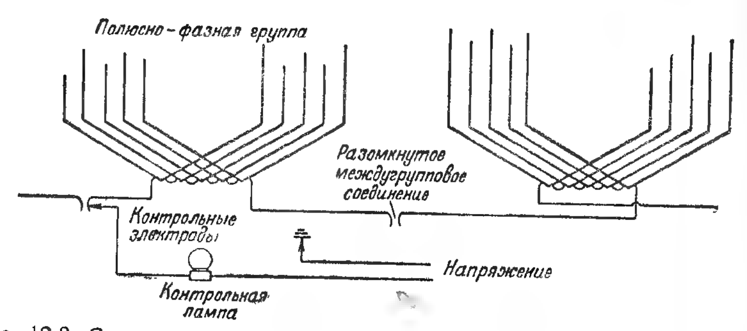



Рис. 12-3. Следующий опыт после показанного на рис. 12-2 — разделение замкнутой на корпус фазы на ее составные части и испытание каждой части, пока не будет обнаружена поврежденная.



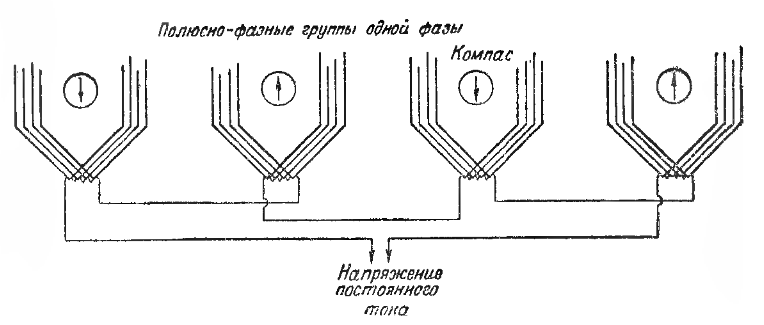



Рис. 12-4. Определение короткозамкнутой полюсно-фазной группы при помощи компаса. Надо пропустить через каждую фазу постоянный ток, равный примерно 20—30% номинального переменного тока. Последовательность полярностей, найденных при помощи компаса и показанных на рисунке, указывает на то, что испытываемая фаза не имеет короткозамкнутых полюсно-фазных групп. Этот опыт позволяет также найти перевернутую фазу или полюсно-фазную группу.

разомкнута и к образовавшимся концам надо подвести постоянный ток. Тогда постоянный ток будет последовательно протекать по всем 3 фазам. При исправной обмотке северный и южный полюсы должны чередоваться.

Для обнаружения короткого замыкания большой части фазы можно сделать опыт по проверке «симметрии фаз»: каждая фаза отдельно питается при напряжении около 20% номинального переменным током, который каждый раз

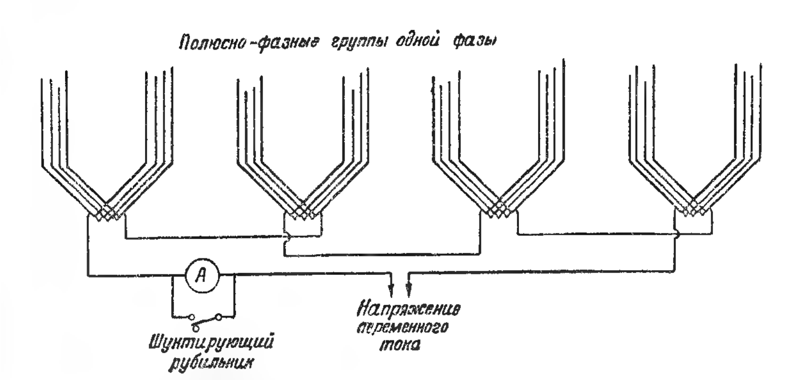



Рис. 12-5. Опыт производится отдельно для каждой фазы при напряжении, равном примерно 20% номинального. Повышенный ток в одной из фаз указывает на короткое замыкание в этой фазе.

должен быть измерен. Повышенный ток в одной из фаз покажет, что в данной фазе имеется короткое замыкание (рис. 12-5). Если обмотка соединена треугольником, то треугольник должен быть разомкнут в одной из вершин и измерения должны быть произведены отдельно для каждой фазы.

**12-3. Ошибочные соединения.** Ошибочное соединение получается, когда 1 или несколько единичных катушек имеют обратные соединения (перевернуты) или когда полюсно-фазная группа имеет обратное соединение, или когда в 3-фазной обмотке вся фаза имеет обратное соединение. Во всех 3 случаях может быть применен опыт с использованием компаса, рассмотренный в предыдущем параграфе. Неправильно соединенная единичная катушка будет стремиться повернуть стрелку компаса в обратную сторону. В случае обратного соединения полюсно-фазной группы стрелка компаса будет показывать одно и то же направление поля у 3 следующих одна за другой полюсно-фазных групп. Когда полная фаза 3-фазной обмотки имеет обратное соединение, то отметки, сделанные при помощи компаса, будут следовать группами по 3 с противоположными направлениями. Трехфазный двигатель, имеющий 1 фазу с обратным соединением, обычно при пуске развивает очень небольшой вращающий момент, и если он при этом начинает вращаться, то будет создавать шум (низкого тона). Обмотки его за короткое время работы сильно нагреваются.

В петлевой обмотке довольно просто проверить группировку катушек, т. е. последовательность соединений единичных катушек и их число на группу, путем осмотра соединений обмотки. В волновых обмотках, применяемых для ротора, проверить соединения таким же путем трудно. Однако проверка соединений может быть произведена при помощи контрольной лампы. Покажем это на примере. Соединена ли обмотка звездой или треугольником, фазы ее надо разъединить. На рис. 6-11 показана полная схема обмотки ротора с 72 пазами, соединенная для 8 полюсов, с разъединенными фазами. Рабочая схема этой обмотки, показана на рис. 6-27, а также на рис. 12-6 с дабавлением всех хомутиков и поворотных соединений. Если обмотка не имеет ошибочных соединений, то контрольная лампа, один конец которой присоединяется к выводу $A_1$, а другой — поочередно к каждому хомутику вдоль периферии ротора, будет зажигаться в последовательности, обозначенной на рис. 12-6 большими точками. Можно видеть, что



свет будет возникать соответственно симметричному расположению этих точек группами по 3.

Из основной табл. 3-5 следует, что для 72 пазов и 8 полюсов ППФ равно 3, что согласуется с полученной группировкой. Можно также видеть, что между каждой группой из 3 хомутиков, которые дают свет, имеется 6 других хомутиков или катушек, которые света не дают. Они при-

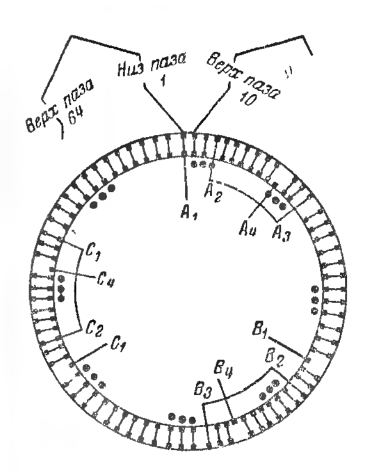



Рис. 12-6. Рабочая схема, на которой показана последовательность свечений контрольной лампы для правильно соединенной волновой обмотки с 72 пазами, 8 полюсами и ППФ=3. Точки показывают последовательность свечений лампы для фазы *A*.

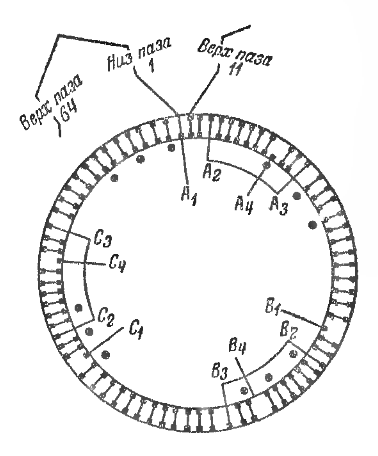



Рис. 12-7. Рабочая схема, на которой показана последовательность свечений контрольной лампы для неправильно соединенной волновой обмотки с 72 пазами, 8 полюсами и ППФ=3. Ошибочно соединена верхняя катушечная сторона паза *11* с нижней катушечной стороной паза *2*.

надлежат фазам *B* и *C*. Они также будут давать свет группами по 3, если опыт производится соответственно для фаз *B* и *C*. Любая другая последовательность, которую дают свечения лампы, указывает на неправильные соединения в обмотке. На рис. 12-7 показана последовательность свечений лампы при ошибочных соединениях обмотки, правильные соединения которой показаны на рис. 6-27. Ошибка заключается в том, что верхняя катушечная сторона паза 11 соединена с нижней катушечной стороной паза 2. Данный опыт может быть применен для волновых обмоток как с целым числом пазов на полюс и фазу, так и

с дробным числом пазов на полюс и фазу. Последовательность свечений лампы всегда будет соответствовать группировкам, рассчитанным по методам, указанным в гл. 6—8.

**12-4. Соединения для напряжений, отличающихся от номинального.** Если двигатель неправильно соединен для напряжения, меньшего, чем напряжение сети, например для 110 *в* при напряжении сети 220 *в*, то это приведет к чрезмерному увеличению тока холостого хода и магнитному шуму, что обусловлено большим увеличением магнитного потока [см. уравнение (10-1)]. Если, с другой стороны, двигатель неправильно соединен для напряжения, большего, чем напряжение сети, то его начальный пусковой и максимальный моменты уменьшатся: например, если двигатель соединен для 220 *в* при напряжении сети 110 *в*, то его начальный пусковой и максимальный моменты будут составлять только $1/4$ соответствующих значений при правильном соединении; двигатель может не пойти в ход и будет останавливаться при нагрузке, меньшей, чем номинальная.

Если 3-фазный двигатель, рассчитанный для соединения звездой, соединен треугольником, то напряжение сети будет слишком высоким (на 73%), что приведет к указанным выше последствиям. Наоборот, если 3-фазный двигатель, рассчитанный для соединения треугольником, соединен звездой, то напряжение сети будет слишком низким (на 73%).

В генераторе ошибочные соединения выявляются при измерении напряжения холостого хода. В случае ошибочных соединений необходимо сделать пересоединения, как указано в § 10-2.

**12-5. Соединения для числа полюсов, отличающегося от заданного.** Ошибочность соединений в данном случае сказывается на скорости вращения. Способы пересоединения для правильного числа полюсов рассмотрены в § 10-5.

**12-6. Разрывы цепей.** Разрыв цепи может получиться при неудовлетворительной спайке проводников, вследствие изломов соединений или проводников. Если получился разрыв в одной из фаз трехфазного двигателя, имеющего обмотку без параллельных ветвей, соединенную в звезду, то двигатель превращается в однофазный и, следовательно, не будет развивать начального пускового момента. Разрыв в одной из фаз 3-фазного двигателя, имеющего обмотку без параллельных ветвей, соединенную треугольником, приводит к заметному различию токов, поступающих в двигатель



из сети. Если обмотка не имеет параллельных ветвей и соединена звездой, то поврежденная фаза может быть обнаружена при помощи контрольной лампы (см. § 12-1), включенной между зажимами (рис. 12-8). Если обмотка не имеет параллельных ветвей и соединена треугольником, то треугольник должен быть разомкнут и каждая фаза должна быть исследована отдельно также при помощи контрольной лампы. После того как обнаружена поврежденная фаза, надо исследовать ее части, как показано на рис. 12-9.

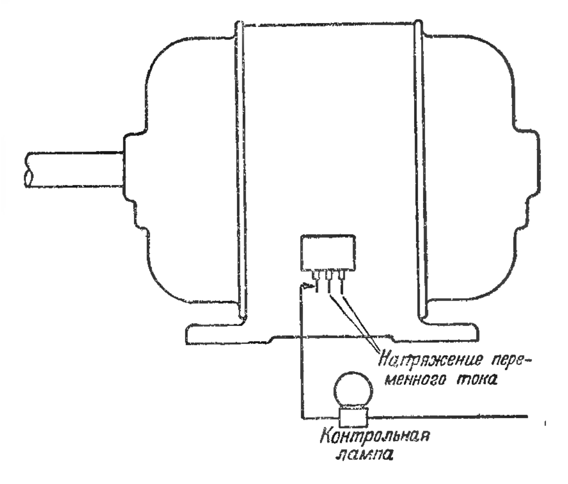



Рис. 12-8. Если имеется разрыв в обмотке, соединенной звездой, то поврежденная фаза определяется по отсутствию свечения лампы, соединяемой при помощи контрольных электродов с зажимами обмотки, как показано на рисунке. При соединении треугольником обмотка размыкается в одной из его вершин и проверяется каждая фаза.

Если 3-фазный двигатель с обмоткой, соединенной в звезду или треугольник при наличии параллельных ветвей, имеет разрывы в 1 или нескольких (но не во всех) параллельных ветвях одной фазы, то он будет развивать пусковой момент. Повреждение вызовет вибрации и повышенный нагрев некоторых частей обмотки. Поврежденная фаза определяется по данным измерения токов в отдельных фазах (см. § 12-2). Затем эта фаза должна быть разъединена на ее параллельные ветви и каждая ветвь исследована отдельно, как указывалось ранее.

Разрыв цепи в беличьей клетке ротора, т. е. неудовлетворительная спайка или заливка пазов такого ротора,

может быть обнаружен при медленном поворачивании его в однофазном магнитном поле. Для этой цели надо к 2 зажимам статора приложить напряжение порядка 25% номинального. Если изменения тока при поворачивании ротора будут меньше 3%, то ротор пригоден для работы.

Разрыв цепи в беличьей клетке может быть также обнаружен при помощи прибора с амперметром в первичной

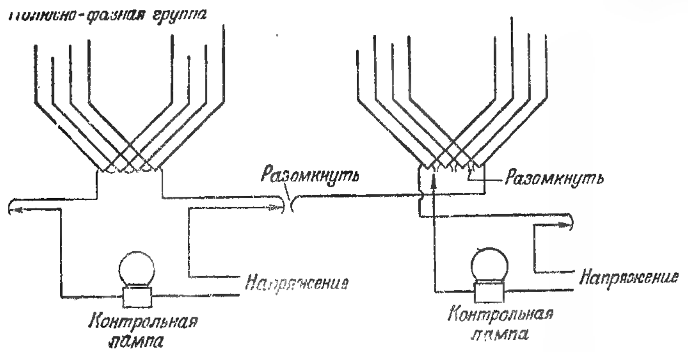



Рис. 12-9. Опыт по рис. 12-8 позволяет найти фазу, имеющую разрыв. Затем проверяется отдельно каждая из частей, составляющих эту фазу, что позволяет найти разрыв или в катушке, или в соединениях.

цепи. Разрыв цепи или большое сопротивление при плохой спайке будет соответствовать меньшему отклонению стрелки амперметра. В последние годы роторы с беличьей клеткой иногда исследуются в отношении повреждений беличьей клетки при помощи рентгеновских лучей.

Разрывы в обмотках фазных роторов определяются так же, как и в обмотках статоров.

**Неисправности асинхронных двигателей**

| Признаки | Причины | Способы устранения |
|---|---|---|
| Двигатель не приходит во вращение | Пускатель (выключатель) выключается из-за перегрузки | Подождать, чтобы пускатель охладился. Снова пустить двигатель. Если двигатель и в этом случае не приходит во вращение, выяснить все указанные ниже причины |
| | Нет соединения с сетью | Проверить соединения вне двигателя и в самом двигателе. Проверить контакты |
| | Неисправности (размыкания) в предохранителях | Проверить предохранители |
| | Низкое напряжение | Сравнить напряжение, указанное на щитке двигателя, с напряжением, подведенным к его зажимам (проверить, соответствуют ли сечения подводящих проводов номинальному току двигателя) |
| | Ошибочные соединения с сетью | Проверить схему двигателя |
| | Ослабление соединений зажимов двигателя с сетью | Укрепить соединения и сделать их более надежными |
| | Рабочая машина создает слишком большой тормозящий момент | Отсоединить двигатель от нагрузки. Если пуск двигателя при этом протекает удовлетворительно, проверить рабочую машину |
| | Разрывы цепей в статорной или роторной обмотке | Сравнить сопротивления отдельных цепей, используя источник энергии низкого напряжения. Соединить отдельные проводники или перемотать |
| | Короткие замыкания в обмотке статора | Проверить сопротивления цепей обмотки. Устранить короткие замыкания и заизолировать поврежденные места или в качестве временной меры вырезать поврежденные витки и, когда будет возможно, перемотать статор |
| | Замыкания на корпус | Проверить и устранить |
| | Зажаты подшипники | Установить правильн или заменить |
| | Слишком густая смазка в подшипниках | Применить специальную смазку с учетом условий работы подшипников |

| Признаки | Причины | Способы устранения |
|---|---|---|
| Двигатель не приходит во вращение | Неисправности в аппаратах контроля и управления | См. специальные инструкции заводов-поставщиков соответствующего электрооборудования |
| | Перегрузка | Уменьшить нагрузку |
| Шум двигателя | Двигатель работает как однофазный | Остановить двигатель. Пустить его. Если он работал как однофазный, то не придет во вращение |
| | | Проверить на „разрыв“ провода сети или обмотку |
| | Электрическая нагрузка несимметрична | Проверить симметрию токов путем измерения тока и напряжения каждой фазы. Проверить симметрию напряжений сети |
| | Осевые колебания вала (двигатель с подшипниками скольжения) | Проверить установку на фундаментной плите, условия работы ременной передачи, аксиальную центровку ротора |
| | Вибрации | Может быть не сбалансирована рабочая машина. Отсоединить двигатель от нагрузки. Если шум продолжается, балансировать ротор |
| | Воздушный зазор неравномерен | Центрировать ротор; если необходимо, заменить подшипники |
| | Шум шариковых подшипников | Проверить смазку. Если шум сильный и не прекращается, заменить подшипники |
| | Ослабление стяжных шпилек статора или ротора и других укрепляющих болтов | Проверить и укрепить все болты |
| | Ротор задевает за статор | Центрировать ротор и заменить подшипники, если это необходимо |
| | Задевание крыльев вентилятора за боковой щит | Разобрать двигатель и осмотреть вентилятор. Задевание должно быть устранено |
| | Двигатель недостаточно укреплен на фундаменте | Укрепить фундаментные болты. Проверить установку двигателя |
| | Неисправности муфты сцепления | Проверить щупами в четырех местах промежутки между половинами муфты до затяжки болтов. Надежно затянуть соединительные болты |





| Признаки | Причины | Способы устранения |
|---|---|---|
| Двигатель работает с температурой нагревания, превышающей нормальную, или дымит | Перегрузка | Измерить ток нагрузки двигателя амперметром и сравнить его с номинальным током, указанным на щитке двигателя |
| | Электрическая нагрузка несимметрична | Проверить симметрию напряжений, не работает ли двигатель как однофазный |
| | Ухудшенная вентиляция | Проверить вентиляционные каналы |
| | Неноминальные напряжение и частота | Сравнить напряжение на зажимах двигателя (при нагрузке) и частоту с указанными на щитке двигателя |
| | Короткие замыкания в обмотке статора | Найти место повреждения. Можно временно вырезать поврежденные витки, но при первой возможности перемотать статор |
| | Замыкания обмотки статора на корпус | Найти место повреждения путем измерения сопротивлений. Наложить изоляцию и, если необходимо, перемотать статор |
| | Нарушение соединений в обмотке роторов | Укрепить соединения, если возможно, или заменить ротор |
| | Слишком сильно натянут ремень | Ослабить натяжение ремня |
| | Двигатель используется для частых пусков и реверсов | Заменить двигатель специально рассчитанным для указанных условий работы |
| Чрезмерное нагревание подшипников скольжения | Боковые щиты не укреплены надлежащим образом | Проверить и укрепить боковые щиты |
| | Слишком сильное натяжение ремня или неисправности зубчатой передачи | Ослабить натяжение ремня. Проверить зубчатую передачу и устранить неравномерность ее работы |
| | Изогнутый вал | Выправить вал (или послать в мастерскую) |
| | Недостаточное количество смазочного масла | Добавить масла; если масло подается с недостаточной скоростью, слить его, прочистить подшипник и снова залить чистым маслом |
| | Неподходящий сорт масла | Заменить согласно указаниям завода-изготовителя |

| Признаки | Причины | Способы устранения |
|---|---|---|
| Чрезмерное нагревание подшипников скольжения | Смазочные кольца вращаются слишком медленно или совсем не вращаются | Слишком густое масло; заменить. Кольца имеют изъяны; заменить новыми |
| | Наклонная установка двигателя | Уменьшить наклон; установить по ватерпасу |
| | Неисправности подшипников или негладкая поверхность вала | Заменить подшипники. Отшлифовать вал |
| Чрезмерное нагревание подшипников качения | Слишком много смазки | Уменьшить количество смазки. Полость подшипника должна быть заполнена примерно наполовину |
| | Неподходящий сорт смазки | Заменить смазку |
| | Загрязненная смазка | Заменить смазку |
| | Неправильная установка подшипников | Установить правильно. Канавки колец должны находиться в плоскости, точно перпендикулярной оси вала |
| | Изъяны в подшипниках (коррозия и т. п.) | Заменить подшипники |
| Неисправности двигателя с фазным ротором | Сечение проводов во внешней цепи ротора слишком мало | Заменить проводами большего сечения |
| | Реостат находится слишком далеко от двигателя | Поместить реостат ближе к двигателю |
| Двигатель вращается с низкой скоростью при выключенном внешнем сопротивлении | Разрыв в цепи ротора | Проверить и устранить |
| | Искрение щеток | Проверить при помощи амперметра нагрузку и, если она больше номинальной, уменьшить ее. Очистить контактные кольца и проверить щетки |
| | Загрязненные кольца и промежутки между ними | Произвести чистку колец и промежутков между ними |
| | Неправильное нажатие щеток | Проверить и отрегулировать |
| | Эксцентричное положение колец | Проверить и исправить |
| | Плотность тока щеток слишком велика | Уменьшить нагрузку. (Проверить сорт щеток) |



*ПРИЛОЖЕНИЕ 1*

# СХЕМЫ СИММЕТРИЧНЫХ ПЕТЛЕВЫХ ОБМОТОК С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ, СОСТАВЛЕННЫЕ ПО ОТНОШЕНИЮ К ОСНОВНОЙ ГАРМОНИКЕ

**П1-1. Число повторяющихся групп и параллельные ветви.** Число пазов на полюс и фазу (ППФ) будем обозначать через $q$. Для обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу $q$ может быть представлено следующим образом:

$$q = \frac{N}{d} = b + \frac{c}{d}, \qquad \text{(П1-1)}$$

де $N$ и $d$, а также $c$ и $d$ не имеют общего делителя; $b$ — целое число. В П1-5 будет показано, что для симметрии $d$ не должно быть кратным числу фаз. Последнее обозначим через $m$. Полное число пазов обозначим через $Z$, а число полюсов — через $2p$.

При принятых обозначениях имеем: части обмотки повторяются после каждых $d$ полюсов; число повторяющихся частей обмотки равно $\frac{2p}{d}$; в каждой фазе на $d$ полюсов приходится $N$ пазов.

Поясним сказанное на примере. Рассмотрим обмотку статора 3-фазной машины, имеющей 20 полюсов и $Z = 135$ пазов. Тогда

$$q = \frac{135}{3 \times 20} = \frac{9}{4} = 2 + \frac{1}{4},$$

т. е. $d = 4$, $N = 9$, $b = 2$, $c = 1$.

Так как каждая полюсно-фазная группа должна иметь целое число единичных катушек (2 или 3, или 4 и т. д.), то $q = 2\frac{1}{4}$ может быть реализовано, если каждая фаза имеет на 4 полюса 3 полюсно-фазные группы с 2 единичными катушками и 1 полюсно-фазную группу с 3 единичными катушками, что дает $\frac{3 \times 2 + 1 \times 3}{4} = \frac{9}{4}$ пазов на полюс и фазу. Таким образом, 4 полюса образуют повторяющуюся часть обмотки и каждая фаза имеет на 4 полюса $N = 4 \times \frac{9}{4} = 9$ пазов. Максимальное возможное число параллельных

ветвей равно $\frac{20}{4}=5$ $\left(\text{в общем случае } \frac{2p}{d}\right)$, тогда как 20-полюсная машина при $q$, равном целому числу, может иметь 20 параллельных ветвей.

Следовательно, если $q=\frac{N}{d}=b+\frac{c}{d}$, в каждой фазе получается $\frac{2p}{d}$ повторяющихся частей и каждая фаза имеет $N$ пазов на $d$ полюсов. Далее, каждая фаза имеет на $d$ полюсов $(d-c)$ полюсно-фазных групп с $b$ единичными катушками и $c$ полюсно-фазных групп с $(b+1)$ единичными катушками.

**П1-2. Звезда пазов.** Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу лучше всего могут быть исследованы на основе звезды пазов, которая показывает положение отдельных пазов в магнитном поле. Так как в каждом пазу находятся 2 катушечные стороны, то звезда пазов также показывает положение в магнитном поле верхних и нижних катушечных сторон, т. е. верхних и нижних слоев. Достаточно рассмотреть только один из 2 слоев.

На рис. П1-1 показана звезда пазов 2-полюсной 3-фазной обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу при $q=2$. Угол между 2 соседними пазами в общем случае будет:

$$\alpha_z=\frac{180}{mq}, \tag{П1-2}$$

а в данном случае $\alpha_z=\frac{180}{3\times 2}=30$ электрическим градусам. 2 соседних вектора представляют 2 соседних паза или 2 соседние катушечные стороны одного и того же слоя. Рассматривая верхний слой, устанавливаем, что катушечные стороны *1* и *2* принадлежат фазе *A*, катушечные стороны *3* и *4* — фазе *C* и катушечные стороны *5* и *6* — фазе *B*. С вектора *7*, который представляет катушечную сторону *7*, начинается второй полюс; этот вектор сдвинут на 180° по отношению к вектору *1*; вектор *8* сдвинут на 180° по отношению к вектору *2* и т. д., т. е. нижняя половина звезды пазов будет точно такой же, как верхняя половина, за исключением того, что ее векторы будут сдвинуты на 180°.

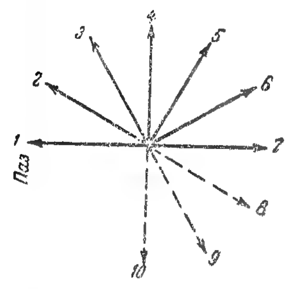



Рис. П1-1. Звезда пазов трехфазной обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу, равным 2.

На рис. П1-2 показаны 4 катушки, принадлежащие фазе *A*. Соединение *C* сделано таким образом, чтобы э. д. с. и н. с. катушечных сторон *1* и *7*, а также катушечных сторон *2* и *8* складывались. В звезде пазов, которая показывает смещение по фазе между сторонами единичных катушек обмотки, вектор *7* может быть взят совпадающим с вектором *1*, вектор *8*—с вектором *2* и т. д., т. е. звезда пазов 2-полюсной обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу может быть полностью представлена векторами одного полюса, для чего требуется только половина круга. Так как 2 плюса дают



повторяющуюся часть обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу, то полученный результат применим в общем случае к таким обмоткам. $d$ полюсов дают повторяющуюся часть обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, точно так же, как 2 полюса дают повторяющуюся часть обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу; следовательно, звезда пазов для $d$ полюсов обмотки

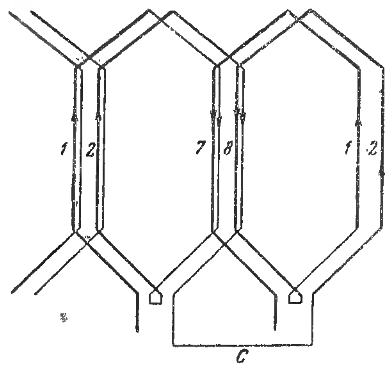



Рис. П1-2. Соединение между 2 следующими одна за другой полюсно-фазными группами.

дробным числом пазов на полюс и фазу может быть представлена половиной круга.

На рис. П1-3 показана звезда пазов 3-фазной обмотки при $1\frac{1}{4}$ паза на полюс и фазу, т. е. при $d=4$, $N=5$, $b=1$ и $c=1$. $d=4$ полюса дают повторяющуюся часть. Каждая фаза имеет $N=5$ пазов на $d=4$ полюса. На $d$ полюсов в каждой фазе имеем $d-c=4-1=3$ полюсно-фазные группы с $b=1$ единичной катушкой и $c=1$ полюсно-фазную группу с $b+1=1+1=2$ единичными катушками. Полное число пазов на $d=4$ полюса равно $mN=3\times 5=15$. Звезда пазов, следовательно, будет иметь 15 векторов.

Угол между 2 соседними пазами равен [уравнение (П1-2)]:

$$\alpha_z=\frac{180}{3\times 4\frac{1}{4}}=48°,$$

т. е. угол между векторами *1* и *2*, *2* и *3* и т. д. равен 48°. Углы, которые соответствуют 15 пазам повторяющейся части ($d=4$ полюсам), будут:

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| паз . . . . . | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| угол . . . . . | 0 | 48 | 96 | 144 | 192 | 240 | 288 | 336 | 24 | 72 | 120 | 168 | 216 | 264 | 312 |

Пазу *16* соответствует угол 360 или 0°; с паза *16* начинается следующая повторяющаяся часть. Пазы *1—4* лежат под первым полюсом повторяющейся части; пазы *5—8* лежат под вторым полюсом; пазы *9—12* лежат под третьим полюсом и пазы *13—15*— под четвертым

полюсом. Так как соединения между катушечными группами делаются из расчета смещения на 180° (рис. П1-2), то действительный угол между пазами, т. е. смещение пазов по отношению один к другому в магнитном поле, будет:

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| паз . . . . . . . . | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| угол . . . . . . . | 0 | 48 | 96 | 144 | 12 | 60 | 108 | 156 | 24 | 72 | 120 | 168 | 36 | 84 | 132 |

Полученные углы имеем в звезде пазов (рис. П1-3). Отметим, что между векторами *1* и *2*, которые соответствуют пазам *1* и *2*, лежат 3 вектора, которые соответствуют пазам *5*, *9* и *13*; что между векторами *2* и *3* лежат 3 вектора, которые соответствуют пазам *6*, *10* и *14*, и т. д., т. е. обмотка менее резко смещается в магнитном поле.

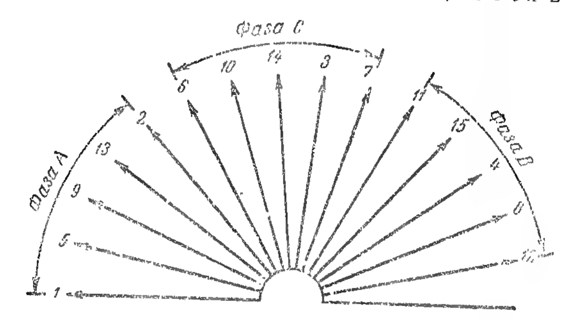



Рис. П1-3. Звезда пазов трехфазной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу; $q = 1^1/_4$.

Необходимо различать угол между 2 пазами, который определяется по уравнению (П1-2), и угол между 2 соседними векторами $\alpha_m$. Угол $\alpha_m$ является углом в магнитном поле между пазами (катушечными сторонами) повторяющейся части обмотки; этот угол определяет свойства обмотки по отношению к ее н. с. и э. д. с., т. е. этот угол определяет коэффициенты распределения обмотки по отношению к основной и высшим гармоникам.

Угол в магнитном поле будет:

$$\alpha_m = \frac{180}{Nm}. \qquad (П1\text{-}3)$$

$\alpha_m$ равен $\alpha_z$ только для обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу. Для обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу $\alpha_m$ всегда меньше $\alpha_z$. Отношение $\frac{\alpha_z}{\alpha_m}$ [см. уравнения (П1-2) и (П1-3)] равно $\frac{N}{q}$, т. е. между 2 соседними пазами звезды пазов, например, между пазами *1* и *2*, имеется $\left(\frac{N}{q} - 1 = d - 1\right)$ других пазов (векторов). На рис. П1-3 имеем между 2 соседними пазами $(4 - 1) = 3$ других вектора. Отметим, что звезда пазов относится к основной гармонике, так как в уравнениях (П1-2) и (П1-3) угол 180° соответствует полюсному делению.



Очевидно, что наибольший коэффициент распределения для основной гармоники будет получен в том случае, если первые 5 векторов звезды пазов на рис. П1-3 отнесем к фазе *A*, следущие 5 векторов — к фазе *C* и последние 5 векторов — к фазе *B*, так как при этом пазы, взятые для каждой фазы, лежат рядом в звезде пазов. Таким образом, в каждой повторяющейся части фаза *A* будет занимать пазы *1*, *5*, *9*, *13* и *2*, фаза *C* — пазы *6*, *10*, *14*, *3* и *7*, фаза *B* — пазы *11*, *15*, *4*, *8* и *12*.

Рассмотрим последовательность пазов в звезде пазов, показанной на рис. П1-3. Если начнем с паза *1*, то последовательность пазов будет представлена следующим рядом:

$$1,\ 1+4,\ 1+2\times 4,\ 1+3\times 4,\ 1+4\times 4-15=2\ldots$$

Так как полное число пазов в повторяющейся части равно $mN$, то это значение (или кратное ему) надо вычесть из членов данного ряда, если они больше, чем $mN$.

В общем случае ряд имеет следующий вид:

$$1,\ 1+D,\ 1+2D,\ 1+3D,\ \ldots\ 1+(3N-1)D, \qquad (П1\text{-}4)$$

где $D$ — разность между номерами 2 пазов, которые соответствуют 2 соседним векторам звезды пазов. В рассмотренном примере $D = 4$.

Эта разность $D$ может быть найдена на основе следующих рассуждений. Если $P$ обозначает число полных полюсных делений между 2 пазами, которые соответствуют 2 соседним векторам звезды пазов (на рис. П1-3 $P = 1$), то будем иметь:

$$D \times \alpha_z = \alpha_m + 180P.$$

Подставляя $\alpha_z$ и $\alpha_m$ из уравнений (П1-2) и (П1-3), получим:

$$D = \frac{mNP + 1}{d}. \qquad (П1\text{-}5)$$

В этом уравнении для $P$ должно быть использовано наименьшее целое число, при котором $D$ будет целым числом. $P$ равно или больше 1.

Если значение $D$ известно, то схема обмотки составляется очень просто.

**П1-3. Составление схемы симметричной петлевой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.** Составление схемы петлевой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу на основе звезды пазов покажем на примере.

Пусть $2p = 10$; $m = 3$; $q = 1\frac{3}{5} = \frac{8}{5} = 1 + \frac{3}{5}$, т. е. $d = 5$; $N = 8$.

5 полюсов дают повторяющуюся часть. Будем иметь на 5 полюсов $3 \times N = 24$ паза по $N = 8$ для каждой фазы. Каждая фаза будет иметь на повторяющуюся часть $c = 3$ полюсно-фазные группы с 2

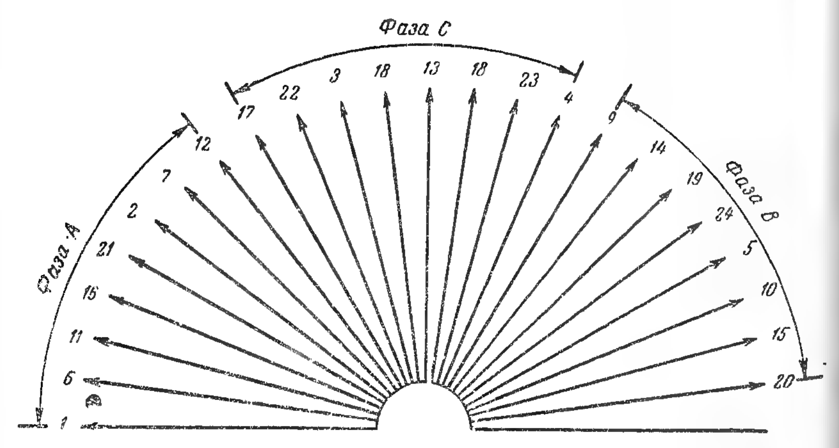



Рис. П1-4. Звезда пазов трехфазной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу; $q = 1^3/_5$.

единичными катушками и $d - c = 5 - 3 = 2$ полюсно-фазные группы с 1 единичной катушкой. Из уравнения (П1-5) следует:

$$D = \frac{3 \times 8 \times P + 1}{5} = 5 \quad \text{при} \quad P = 1.$$

Следовательно, $N = 8$ пазов, принадлежащих фазе $A$, образуют ряд

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $1$ | $1+D$ | $1+2D$ | $1+3D$ | $1+4D$ | $1+5D-3N$ | $1+6D-3N$ | $1+7D-3N$, |
| 1 | 6 | 11 | 16 | 21 | 2 | 7 | 12 |

или, размещая их соответственно последовательности пазов в машине

*1 — 2  6 — 7  11 — 12  16  21.*

пазов, принадлежащих фазе $C$, дают:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $1+8D-3N$ | $1+9D-3N$ | $1+10D-6N$ | $1+11D-6N$ | $1+12D-6N$ |
| 17 | 22 | 3 | 8 | 13 |
| $1+13D-6N$ | $1+14D-6N$ | $1+15D-9N$, | | |
| 18 | 23 | 4 | | |

или, размещая их соответственно последовательности пазов в машине:

*3 — 4  8  13  17 — 18  22 — 23.*

8 пазов, принадлежащих фазе $B$, распределяются следующим образом:

*5  9—10  14—15  19—20  24.*

На рис. П1-4 показана звезда пазов данной обмотки.

Начнем с паза *1* и рассмотрим пазы, отнесенные к 3 фазам. Тогда получим, что первая полюсно-фазная группа состоит из пазов *1* и *2* и принадлежит фазе $A$, вторая полюсно-фазная группа состоит из пазов *3* и *4* и принадлежит фазе $C$, третья полюсно-фазная группа



состоит из паза *5* и принадлежит фазе $B$ и т. д. Последовательность полюсно-фазных групп в повторяющейся части обмотки будет:

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1; |
| *A* | *C* | *B* | *A* | *C* | *B* | *A* | *C* | *B* | *A* | *C* | *B* | *A* | *C* | *B*. |

В рассматриваемом примере $2p = 10$. Таким образом, число повторяющихся частей равно $\frac{2p}{d} = \frac{10}{5} = 2$ и последовательность полюсно-фазных групп вдоль окружности статора будет представлять собой повторенную дважды последовательность, найденную для 1 повторяющейся части.

Отметим, что группировка, найденная для 1 повторяющейся части, состоит из 3 повторений группировки

2 2 1 2 1.

Следовательно, достаточно знать группировку только трети 1 повторяющейся части и повторить эту группировку 6 раз. (Объяснение этого дается в последующем).

Число полюсно-фазных групп в 1 повторяющейся части, т. е. на $d$ полюсов, равно $m \times d = 3 \times 5 = 15$ и треть этого числа равны $d = 5$. Поэтому в общем случае необходимо определить последовательность только $d$ полюсно-фазных групп, чтобы знать последовательность всех полюсно-фазных групп обмотки. Для 3-фазной обмотки группировка $d$ полюсно-фазных групп повторяется $3 \times \left(\frac{2p}{d}\right)$ раз и для 2-фазной обмотки $2 \times \left(\frac{2p}{d}\right)$ раз.

Определение $d$ полюсно-фазных групп может быть произведено на основе $D$-ряда [уравнение (П1-4)], как только что было показано в примере. Имеется также более короткий путь определения этих полюсно-фазных групп.

Сначала рассмотрим снова трехфазные обмотки. Здесь первые 60° звезды пазов отнесены к фазе $A$, следующие — к фазе $C$, следующие — к фазе $B$ и т. д. В этом случае первая полюсно-фазная группа фазы $A$ будет состоять из первых $\left(\left|\frac{60}{\alpha_z}\right| + 1\right)$ следующих друг за другом пазов, так как угол 60°, отнесенный к фазе $A$, содержит $\left|\frac{60}{\alpha_z}\right|$ углов, в сумме равных $\alpha_z$. (2 вертикальные линии указывают, что должна быть взята целая часть величины). 1 прибавляется к $\left|\frac{60}{\alpha_z}\right|$ потому, что первый паз звезды обозначен через *1* и отнесен к фазе $A$. Первая полюсно-фазная группа фазы $C$ состоит из

$$\left(\left|\frac{120}{\alpha_z}\right| + 1\right) - \left(\left|\frac{60}{\alpha_z}\right| + 1\right)$$

ближайших следующих один за другим пазов. Первая полюсно-фазная группа фазы $B$ состоит из

$$\left(\left|\frac{180}{\alpha_z}\right| + 1\right) - \left(\left|\frac{120}{\alpha_z}\right| + 1\right)$$

следующих один за другим пазов. Вторая полюсно-фазная группа $A$ состоит из

$$\left(\left|\frac{240}{\alpha_z}\right|+1\right)-\left(\left|\frac{180}{\alpha_z}\right|+1\right)$$

следующих один за другим пазов и т. д. Так как $\alpha_z=\frac{180}{mq}$ [уравнение (П1-2)], то получаем:

$$\frac{60}{\alpha_z}=\frac{60}{180}mq=q;$$

$$2\times\frac{60}{\alpha_z}=2q;$$

$$3\times\frac{60}{\alpha_z}=3q$$

и т. д. Таким образом, первая полюсно-фазная группа фазы $A$ состоит из первых $(|q|+1)$ единичных катушек, первая полюсно-фазная группа фазы $C$ — из следующих $(|2q|+1)-(|q|+1)$ единичных катушек, первая полюсно-фазная группа фазы $B$ — из ближайших следующих $(|3q|+1)-(|2q|+1)$ единичных катушек и т. д.

Обратимся к той же самой обмотке, которую рассматривали ранее, а именно к обмотке при $q=1\frac{3}{5}$. Для определения числа единичных катушек в первых 3 полюсно-фазных группах напишем:

$$\begin{array}{ll} \text{а)} & \qquad q \qquad\quad 2q \qquad\quad 3q \\ \text{б)} & 0 \quad |q|+1 \quad |2q|+1 \quad |3q|+1 \\ \text{в)} & \text{разность разность разность,} \end{array}$$

т. е.

$$\begin{array}{ll} \text{а)} & \qquad 1\frac{3}{5} \qquad\quad 3\frac{1}{5} \qquad\quad 4\frac{4}{5} \\ \text{б)} & 0 \quad 1+1=2 \quad 3+1=4 \quad 4+1=5 \\ \text{в)} & \quad 2 \qquad\quad 2 \qquad\quad 1 \\ & \quad A \qquad\quad C \qquad\quad B \end{array}$$

Полученный результат соответствует тому, что дает $D$-ряд.

Рассмотрим теперь $d$-ю полюсно-фазную группу. Так как $q=\frac{N}{d}$, то для этой катушечной группы имеем:

$$\frac{d\times 60}{\alpha_z}=\frac{d\times 60}{180}\times mq=N,$$

т. е. полный угол $d\times 60$, который соответствует $d$-й полюсно-фазной группе, содержит целое число углов $\alpha_z$ и, следовательно, заканчивается в пазу. Так как полный угол $d\times 60$ является кратным 60°, то паз, в котором заканчивается угол $d\times 60$, — начало следующей фазы (см. звезду пазов на рис. П1-3 или П1-4) и, следовательно, этот



паз надо вычесть из числа пазов, содержащихся в $d\times 60°$. Таким образом, число единичных катушек (пазов) $d$-й полюсно-фазной группы равно:

$$(N-1+1)-\left\{\left|\frac{(d-1)\times 60}{\alpha_z}\right|+1\right\}=N-\left\{\left|\frac{(d-1)\times 60}{\alpha_z}\right|+1\right\}.$$

Рассмотрим теперь $(d+1)$-ю полюсно-фазную группу. Этой катушечной группе соответствует полный угол $(d+1)\times 60°$ и число единичных катушек в ней равно:

$$\left\{\left|\frac{(d+1)\times 60}{\alpha_z}\right|+1\right\}-N=N+\left|\frac{60}{\alpha_z}\right|+1-N=\left|\frac{60}{\alpha_z}\right|+1.$$

Число единичных катушек $(d+2)$-й полюсно-фазной группы равно:

$$\left\{\left|\frac{(d+2)\times 60}{\alpha_z}\right|+1\right\}-\left\{\left|\frac{(d+1)\times 60}{\alpha_z}\right|+1\right\}=\left\{N+\left|\frac{2\times 60}{\alpha_z}\right|+1\right\}-$$
$$-\left\{N+\left|\frac{60}{\alpha_z}\right|+1\right\}=\left\{\left|\frac{2\times 60}{\alpha_z}\right|+1\right\}-\left\{\left|\frac{60}{\alpha_z}\right|+1\right\},$$

т. е. $(d+1)$-я полюсно-фазная группа имеет то же самое число единичных катушек, что и первая полюсно-фазная группа; $(d+2)$-я полюсно-фазная группа имеет то же самое число единичных катушек, что и вторая полюсно-фазная группа, и т. д. Отсюда следует, что группировка катушек *начинает повторяться после $d$-й полюсно-фазной группы*. Поэтому *группировку надо определить только для $d$ полюсно-фазных групп*. Таким образом, достаточно написать:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{а)} & \qquad q \qquad\quad 2q \qquad\quad 3q\ldots dq\,(=N); \\ \text{б)} & 0 \quad |q|+1 \quad |2q|+1 \quad |3q|+1\ldots dq; \\ \text{в)} & \text{разность разность разность разность.} \end{array}\right\} \qquad \text{(П1-6)}$$

Разности дают группировку катушек для $N$ пазов. Так как звезда пазов содержит $mN$ пазов, то полученную группировку надо повторить $m$ раз, чтобы получить группировку 1 повторяющейся части. Так как имеется $\frac{2p}{d}$ повторяющихся частей, группировку, полученную для $d$ полюсно-фазных групп, надо повторить $\left(m\times\frac{2p}{d}\right)$ раз, чтобы получить группировку катушек для всей обмотки.

Применяя указанное правило к примеру с $m=3$, $q=1\frac{3}{5}$, $N=8$, $d=5$, получим:

$$\begin{array}{ll} \text{а)} & \qquad 1\frac{3}{5} \quad 3\frac{1}{5} \quad 4\frac{4}{5} \quad 6\frac{2}{5} \quad 8; \\ \text{б)} & 0 \quad 2 \quad 4 \quad 5 \quad 7 \quad 8; \\ \text{в)} & \quad 2 \quad 2 \quad 1 \quad 2 \quad 1. \end{array}$$

Это та же самая группировка, что и полученная ранее из $D$-ряда. Для $2p = 10$ ее надо повторить $\left(3 \times \frac{10}{5}\right) = 6$ раз.

Сказанное в отношении 3-фазных обмоток применимо также и к 2-фазным обмоткам. Первая полюсно-фазная группа 2-фазной обмотки состоит из первых $\left|\frac{90}{\alpha_z}\right| + 1$ следующих один за другим пазов. Вторая полюсно-фазная группа состоит из ближайших следующих $\left\{\left|\frac{180}{\alpha_z}\right| + 1\right\} - \left\{\left|\frac{90}{\alpha_z}\right| + 1\right\}$ пазов и т. д.

Так как $\alpha_z = \frac{180}{mq}$, то

$$\frac{90}{\alpha_z} = \frac{90}{180} \times mq = q;$$

$$2 \times \frac{90}{\alpha_z} = 2q;$$

$$3 \times \frac{90}{\alpha_z} = 3q$$

и т. д. Получилось то же самое, что и для трехфазных обмоток. Кроме того,

$$\frac{d \times 90}{\alpha_z} = \frac{d \times 90}{180} \times mq = N.$$

Следовательно, для определения числа единичных катушек в $d$ полюсно-фазных группах надо применить тот же самый порядок расчета, что и для $m = 3$.

Дальнейшее упрощение в составлении схем симметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу при максимальном коэффициенте распределения в отношении основной гармоники заключается в следующем.

Рассмотрим 3-фазную обмотку с $q = 2\frac{3}{5}$, $N = 13$, $d = 5$. Группировка этой обмотки:

1) $2\frac{3}{5} \quad 5\frac{1}{5} \quad 7\frac{4}{5} \quad 10\frac{2}{5} \quad 13;$

б) 0 3 6 8 11 13;

в) 3 3 2 3 2.

Сравнивая эту группировку с полученной для $q = 1\frac{3}{5}$, т. е.

2 2 1 2 1,

видим, что последовательность больших и малых полюсно-фазных групп получилась той же самой.



В общем случае, если число пазов на полюс и фазу написать в виде $q = b + \frac{c}{d}$, последовательность больших и малых групп не зависит от значения целой части $q$, т. е. $b$, а зависит только от значений $c$ и $d$. Если распределение было определено для некоторого значения $b$, например для $b = 1$, то распределение для $b = 3$ найдем, прибавляя $2 = (3 - 1)$ ко всем числам распределения для $b = 1$. Таким образом, распределение больших и малых полюсно-фазных групп можно определить для $b = 0$ и затем ту же последовательность применить к $b = 1, 2, 3, 4, \ldots$ Значение $b$ определяет при этом число единичных катушек в полюсно-фазных группах. Распределение, найденное для $b = 0$, дает катушечные группы с числами единичных катушек 1 и 0. Прибавляя 1 ко всем числам распределения для $b = 0$, найдем распределение для $b = 1$; прибавляя 2 ко всем числам распределения для $b = 0$, найдем распределение для $b = 2$ и т. д.

Чтобы определить распределение для $b = 0$, следует:

а) написать ряд $\frac{c}{d}, 2\frac{c}{d}, 3\frac{c}{d}, \ldots, d\frac{c}{d}$;

б) прибавить 1 ко всем целым частям ряда „а", за исключением последнего числа, равного $d\frac{c}{d} = c$;

в) написать 0 слева от ряда „б" и определить разности между соседними числами;

г) затем прибавить ко всем числам ряда „в" значение $b$.

Последний ряд представляет собой группировку катушек $\frac{1}{m}$-й доли повторяющейся части. Повторяя ее $\left(m \times \frac{2p}{d}\right)$ раз, получим распределение полюсно-фазных групп для всей обмотки.

Из распределения катушек для $\frac{c}{d}$ можно легко найти распределение катушек для $\frac{d-c}{d}$. Для этого надо распределение для $\frac{c}{d}$ написать в обратном порядке и заменить 1 на 0, а 0 на 1. Рассмотрим для примера $\frac{c}{d} = \frac{2}{7}$. Для этих значений $c$ и $d$ имеем:

1 0 0 1 0 0 0.

Для $\frac{d-c}{d} = \frac{7-2}{7} = \frac{5}{7}$ распределение будет:

1 1 1 0 1 1 0.

Упрощенный метод составления схем симметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу при максимальном коэффициенте распределения в отношении основной гармоники, описанный выше, был использован при составлении табл. 4-1 и 4-2 соответственно для $m=2$ и $m=3$.

**П1-4. Начала фаз.** Рассмотрим рис. П1-4, на котором представлена звезда пазов 3-фазной обмотки при $q=1^3/_5$. Первые $N=8$ пазов (векторов) звезды пазов отнесены к фазе $A$, следующие 8 пазов (векторов) — к фазе $C$ и последние 8 пазов (векторов) — к фазе $B$. Так как последовательность геометрического сложения не влияет на результирующий вектор, то любой из 8 пазов фазы может быть принят за начало этой фазы. Однако надо позаботиться о том, чтобы не получилось перевернутой фазы, т. е. начала фаз надо взять смещенными приблизительно на 120 и 240°, а не приблизительно на 60 и 120°. Таким образом, начала фаз можно поместить в пазах *1*, *5* и *8*, каждый из которых принадлежит различным фазам.

Угол между 2 пазами равен [уравнение (П1-2)]:

$$\alpha_z = \frac{180\times 5}{3\times 8} = 37{,}5°,$$

а углы между началами 3 фаз в данном случае равны $(5-1)\times 37{,}5=$ $=150°$ и $(8-1)\times 37{,}5=262{,}5°$. В 3-фазной обмотке при $q=1^1/_4$ начала фаз могут находиться в пазах *1*, *4* и *6*, которые смещены на 144 и 240° (см. также § 4-11). Эти обмотки являются симметричными, т. е. их 3 э. д. с. равны, а углы между ними 120 и 240°, несмотря на то, что углы между началами фаз не равны 120 и 240°.

В 2-фазных обмотках начала фаз должны быть сдвинуты приблизительно на 90°, т. е. начала любых 2 следующих одна за другой полюсно-фазных групп могут быть выбраны за начала фаз (см. также § 4-9).

**П1-5. Условия симметрии.** В § П1-1 было указано, что если $d$ кратно числу фаз $m$, то обмотка будет несимметричной, т. е. э. д. с. и н. с. различных фаз будут иметь неодинаковые значения, а углы между ними не будут равны 90° при $m=2$ или 120 и 240° при $m=3$.

Рассмотрим 3-фазную обмотку при $q=2\frac{2}{3}$, т. е. при $N=8$ и $d=3$, $d$ кратно числу фаз 3. Применим уравнение (П1-5):

$$D = \frac{3\times 8\times P+1}{3} = 8P + \frac{1}{3}.$$

Так как $P$ — целое число, $D$ не может быть целым числом, т. е. в данном случае уравнение (П1-5) отпадает. В приложении 3 будет показано, что тип звезды пазов, представленной на рис. П1-3 и П1-4, также не может быть применен в данном случае. Если $d$ кратно $m$, обмотка является несимметричной.

Другое условие симметрии заключается в необходимости иметь полное число пазов $Z$ кратным $m$, т. е.

$$\frac{Z}{m} = \frac{2pqm}{m} = 2pq = \frac{2p}{d}N \text{ равно целому числу.}$$

Так как $N$ и $d$ не имеют общего делителя [см. уравнение (П1-1)], второе условие симметрии означает, что число полюсов должно быть кратным $d$.



Таким образом, условия симметрии следующие:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{2p}{d} \text{ равно целому числу;} \\ &\frac{d}{m} \text{ не равно целому числу.} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(П1-7)}$$

Число повторяющихся частей в каждой фазе, а следовательно, максимальное возможное число параллельных ветвей равно $\frac{2p}{d}$.

---

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

# СХЕМЫ СИММЕТРИЧНЫХ ПЕТЛЕВЫХ ОБМОТОК С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ, СОСТАВЛЕННЫЕ ПО ОТНОШЕНИЮ К ВЫСШИМ ГАРМОНИКАМ

## (Обмотки с круговым смещением катушек и обмотки с двойным укорочением)

В приложении 1 рассматривалось составление схем симметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу по отношению к основной гармонике, т. е. таких схем, при которых получается наибольший коэффициент распределения для этой гармоники. Тогда они дают определенные значения коэффициентов распределения для отдельных высших гармоник. При известных условиях желательно устранить одну или несколько высших гармоник э. д. с. или н. с. В этом случае схема обмотки составляется по отношению к отдельной или отдельным высшим гармоникам.

Возможны 2 способа: во-первых, круговое смещение катушек от фазы к фазе в пределах одной и той же повторяющейся части обмотки и, во-вторых, смещение повторяющихся частей обмотки по отношению одна к другой. Поясним оба способа на примерах.

**П2-1. Круговое смещение катушек от одной фазы к другой в пределах одной и той же повторяющейся части.** На рис. П2-1 показана звезда пазов 3-фазной 20-полюсной обмотки при $q={}^{17}/_{5}=3^{2}/_{5}$. Для этой обмотки $N=17$ и $d=5$. Кроме того [уравнение (П1-5)],

$$D=\frac{3\times 17\times P+1}{5}=41 \text{ при } P=4.$$

Звезда пазов включает в себя $mN=3\times 17=51$ паз. Если первые 17 пазов отнесены к фазе $A$, следующие 17 пазов — к фазе $C$ и последние 17 пазов — к фазе $B$, то получается рассмотренная в приложении 1 обмотка, составленная по отношению к основной гармонике. Этот тип обмотки и соответствующую звезду пазов будем считать основными, а обмотку с круговым смещением катушек будем относить к ней или сравнивать с нею. (Отметим, что пазы фазы $A$ указываются крестами, пазы фазы $C$ — прямоугольниками и пазы фазы $B$ — кружками.)

На рис. П2-2 показана звезда пазов рис. П2-1, но с симметрично смещенными пазами *4*, *38* и *21*. Паз *4* фазы $A$ отнесен к фазе $C$, паз *38* фазы $C$ отнесен к фазе $B$ и паз *21* фазы $C$ отнесен к фазе $A$. Эти 3 паза (*4*, *38* и *21*) все лежат близко к последним пазам основной звезды пазов (рис. П2-1).

Круговое смещение нормально приводит к такой последовательности полюсно-фазных групп в каждой фазе, при которой большие



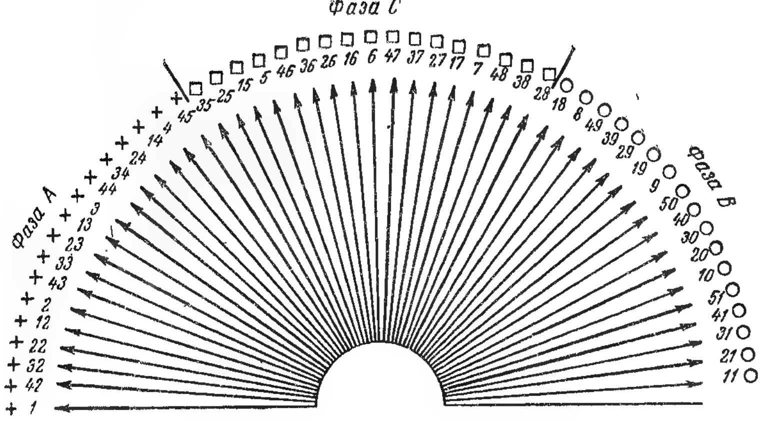



Рис. П2-1. Основная звезда пазов трехфазной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу; $q=3^{2}/_{5}$.

(или малые) группы оказываются не сосредоточенными, а располагаются между малыми (или большими) группами. Рассмотрим фазу $A$ на рис. П2-1. Пазы, отнесенные к этой фазе, следующие:

*1—2—3—4*, *12—13—14*, *22—23—24*, *32—33—34* и *42—43—44—45*,

а соответствующая последовательность полюсно-фазных групп

*4 3 3 3 4*,

т. е. все малые группы лежат вместе. Рассмотрим теперь ту же самую фазу на рис. П2-2, где паз *4* заменен пазом *21*. Теперь пазы, отнесенные к этой фазе:

*1—2—3*, *12—13—14*, *21—22—23—24*, *32—33—34* и *42—43—44—45*,

а последовательность полюсно-фазных групп

*3 3 4 3 4*,

т. е. сосредоточенность малых групп устранена. Это было достигнуто разделением первой полюсно-фазной группы с 4 единичными катушками.

Круговое смещение катушек в пределах той же самой повторяющейся части уменьшает коэффициенты распределения одних высших гармоник и увеличивает коэффициенты распределения других высших гармоник. Коэффициент распределения основной гармоники всегда будет меньше, чем при основном распределении пазов. Чтобы найти круговое смещение, при котором уменьшается некоторая определенная гармоника, надо исследовать несколько распределений пазов при различных круговых смещениях, т. е. использовать вариантный метод («метод попыток»).

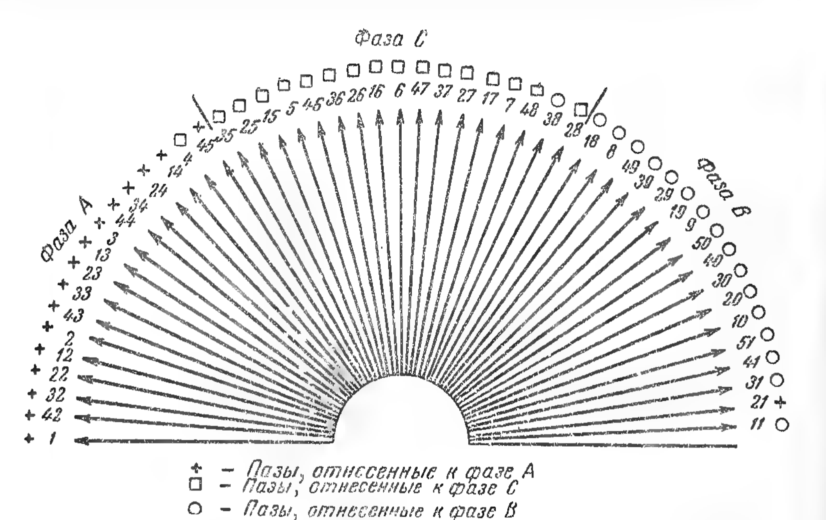



Рис. П-2. Звезда пазов трехфазной обмотки, соответствующая рис. П2-1, с одним круговым смещением (смещены пазы *4*, *38* и *21*)

Круговое смещение, которое необходимо и возможно для устранения сосредоточения больших или малых полюсно-фазных групп, может быть найдено следующим образом:

а) Напишем *D*-ряды для фаз *A*, *C* и *B* один над другим.

б) Напишем для фазы *A* *d* полюсно-фазных групп, как они следуют одна за другой в машине.

в) Разделим большую полюсно-фазную группу в фазе *A* и проверим, может ли паз, отделенный от фазы *A*, быть замещенным пазом фазы *B* или *C*, находящимся в том же самом столбце, для получения желаемого результата.

Сказанное поясним на некоторых примерах. Отметим, что *D*-ряд фазы *C* получается из *D*-ряда фазы *A* путем прибавления ко всем числам фазы *A* числа $N$ ($D$ — целое число$\times m$)$=N$ или $2N$ и что *D*-ряд фазы *B* получается из *D*-ряда фазы *C* путем прибавления того же самого числа к этому последнему ряду.

Пример 1. Как первый пример будет рассмотрена обмотка представленная на рис. П2-1. Для этой обмотки $N=17$ и $D=41$. Число, которое надо прибавить к *D*-ряду фазы *A* для получения *D*-ряда фазы *C* и к последнему *D*-ряду для получения *D*-ряда фазы *B*, равно:

$$17\,(41 - \text{целое число}\times 3) = 17\,(41-39) = 17\times 2 = 34.$$

Следовательно, получаем 3 *D*-ряда:

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| фаза *A*... | 1 | 42 | 32 | 22 | 12 | 2 | 43 | 33 | 23 | 13 | 3 | 44 | 34 | 24 | 14 | 4 45; |
| фаза *C*... | 35 | 25 | 15 | 5 | 46 | 36 | 26 | 16 | 6 | 47 | 37 | 27 | 17 | 7 | 48 | 38 23; |
| фаза *B*... | 18 | 8 | 49 | 39 | 29 | 19 | 9 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 51 | 41 | 31 | 21 11 |

группировку фазы *A*:

*1—2—3—4, 12—13—14, 22—23—24, 32—33—34* и *42—43—44—45*.



Получаются 3 сосредоточенные малые группы и 2 большие. Для устранения сосредоточения малых групп одну большую группу надо разделить, а одну малую группу превратить в большую.

Начинаем с первой из больших полюсно-фазных групп (пазы *1*, *2*, *3*, *4*); отделяя от нее паз *4*, можем получить пазы *38* и *21* как его заменяющие. Паз *38* от фазы *C* не является пригодным для фазы *A*, так как при этом шестая полюсно-фазная группа получается с 1 катушкой. Паз *21* от фазы *B* дает 4-катушечную группу вместе с пазами *22*, *23* и *24*, и тогда получается группировка

*1 — 2 — 3, 12 — 13 — 14, 21 — 22 — 23 — 24, 32 — 33 — 34*
и *42 — 43 — 44 — 45*,

как и требуется. Отделение паза *21* от фазы *B* для фазы *A* приводит к необходимости смещения паза *4* от фазы *A* к фазе *C*, а паза *38* от фазы *C* к фазе *B*, как показано на рис. П2-2, чтобы обмотка получилась симметричной. Круговое смещение, таким образом, делается по стрелке часов.

Если вместо первой большой полюсно-фазной группы фазы *A* разделить вторую большую группу этой фазы (пазы *42*, *43*, *44*, *45*), например отделением паза *42* от фазы *A*, то получим пазы *25* и *8*, как его заменяющие. Паз *8* от фазы *B* не является пригодным для фазы *A*, так как при этом шестая полюсно-фазная группа получается с 1 катушкой. Паз *25* от фазы *C* дает 4-катушечную группу вместе с пазами *22*, *23* и *24*, и тогда получается группировка

*1 — 2 — 3 — 4, 12 — 13 — 14, 22 — 23 — 24 — 25, 32 — 33 — 34*
и *43 — 44 — 45*,

как и требуется. Отделение паза *25* от фазы *C* для фазы *A* делает необходимым сместить паз *42* от фазы *A* к фазе *B*, а паз *8* от фазы *B* к фазе *C*, чтобы обмотка получилась симметричной. Круговое смещение здесь делается против стрелки часов.

Когда круговое смещение делается по стрелке часов, паз фазы *B* заменяет паз, отделенный от фазы *A*, а когда круговое смещение делается против стрелки часов, то паз фазы *C* заменяет паз, отделенный от фазы *A*.

Иногда к лучшему решению приводит не 1, а несколько круговых смещений. Рассмотрим, например, паз *45* фазы *A*. Если этот паз отделяется, то его могли бы заменить пазы *28* и *11*. Паз *28* не подходит для фазы *A*. Паз *11* дает 4-катушечную группу вместе с пазами *12*, *13* и *14*, но никаких преимуществ здесь не получается, так как снова будут находиться рядом 3 полюсно-фазные группы с 3 единичными катушками в каждой, а именно группы (*22*, *23*, *24*), (*32*, *33*, *34*) и (*42*, *43*, *44*). Однако если сделать второе круговое смещение отделением катушки *14* от фазы *A* и заменой ее пазом *31*, то группировка фазы *A* будет иметь следующий вид:

*1 — 2 — 3 — 4, 11 — 12 — 13, 22 — 23 — 24, 31 — 32 — 33 — 34*
и *42 — 43 — 44*,

как и требуется. Оба круговых смещения делаются по стрелке часов.

При большом числе круговых смещений заметно уменьшается коэффициент распределения основной гармоники. Поэтому число круговых смещений для получения желательной группировки должно быть

как можно меньшим. Однако решения с различными группировками катушек в фазе получаются в большем количестве, если делаются различные числа круговых смещений (см. пример), и можно полагать, что решение при большем числе смещений будет более благоприятным в отношении уменьшения высших гармоник, чем решение при меньшем числе смещений.

Выше рассматривалась группировка только для фазы $A$. Если делается симметричное (круговое) смещение, т. е. такое, при котором используется один и тот же столбец 3 $D$-рядов, то результаты, полученные для фазы $A$, применимы также и для 2 других фаз. Симметричное (круговое) смещение необходимо делать для того, чтобы обмотка осталась симметричной.

Пример 2. В качестве второго примера рассмотрим 3-фазную 14-полюсную обмотку при $q = 2\frac{4}{7}$. Для этой обмотки $N = 18$ и

$$D = \frac{3 \times 18 \times P + 1}{7} = 31 \text{ при } P = 4.$$

Кроме того, $N$ ($D$ — целое число$\times m$) = 18 (31 — целое число$\times 3$) = 18. Отсюда получаем следующие 3 $D$-ряда:

фаза $A$... 1 32 9 40 17 48 25 2 33 10 41 18 49 26 3 34 11 42;
фаза $C$... 19 50 27 4 35 12 43 20 51 28 5 36 13 44 21 52 29 6;
фаза $B$... 37 14 45 22 53 30 7 38 15 46 23 54 31 8 39 16 47 24

и группировку фазы $A$:

*1—2—3, 9—10—11, 17—18, 25—26, 32—33—34, 40—41—42 и 48—49.*

Применяя 3 круговых смещения по стрелке часов, как показано на рис. П2-3, получим следующую группировку для фазы $A$:

*1—2—3, 9—10, 16—17—18, 25—26, 31—32—33, 40—41—42 и 47—48.*

Она имеет меньшее сосредоточение больших полюсно-фазных групп, чем основная группировка.

**П2-2. Смещение повторяющихся частей обмотки по отношению одна к другой (второе укорочение).** В качестве примера смещения повторяющихся частей рассмотрим 3-фазную 20-полюсную обмотку, показанную на рис. П2-1. Для этой обмотки $q = 3\frac{2}{5}$, $N = 17$, $d = 5$ и $D = 41$. Имеются $\frac{20}{5} = 4$ повторяющиеся части.

$N = 17$ пазов, принадлежащих фазе $A$ в первой повторяющейся части, имеют следующее основное распределение:

*1 42 32 22 12 2 43 33 23 13 3 44 34 24 14 4 45.*

17 пазов, принадлежащих фазе $A$ во второй повторяющейся части, получаются путем прибавления ко всем числам предыдущего распределения $mN = 3 \times 17 = 51$. Таким образом, пазы, принадлежащие



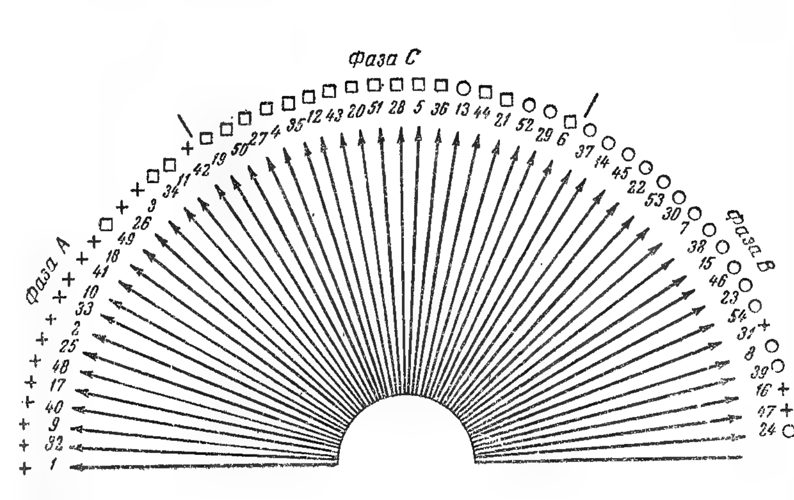



Рис. П2-3. Звезда пазов трехфазной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, $q = 2^1/_7$, $2p = 14$ и 3 круговыми смещениями.

фазе $A$ во второй повторяющейся части, будут иметь следующее основное распределение:

*52 93 83 73 63 53 94 84 74 64 54 95 85 75 65 55 96.*

Угол между 2 следующими друг за другом пазами (векторами) звезды пазов — $\alpha_m$ [см. уравнение (П1-3)]. Для создания смещения второй повторяющейся части относительно первой части, например равного углу $3\alpha_m$, пазы второй повторяющейся части, отнесенные к фазе $A$, должны быть (рис. П2-4):

*73 63 53 94 84 74 64 54 95 85 75 65 55 96 86 76 66,*

т. е. первые 3 паза фазы $C$ надо отнести к фазе $A$, первые 3 паза фазы $B$ — к фазе $C$ и первые 3 паза фазы $A$ — к фазе $B$. Результирующие э. д. с. и н. с. первой повторяющейся части какой-либо фазы будут в этом случае смещены на угол $3\alpha_m$ относительно результирующих э. д. с. и н. с. второй повторяющейся части той же фазы.

Нормальное укорочение можно рассматривать как смещение нижнего слоя относительно верхнего слоя. Нормальное укорочение делает необходимым вводить коэффициент укорочения. Смещение повторяющихся частей обмотки по отношению одна к другой дает те же самые результаты, что и смещение нижнего слоя по отношению к верхнему слою, и приводит к необходимости введения второго коэффициента укорочения. Поэтому обмотки, имеющие смещение повторяющихся частей по отношению одна к другой, называются обмотками с двойным укорочением.

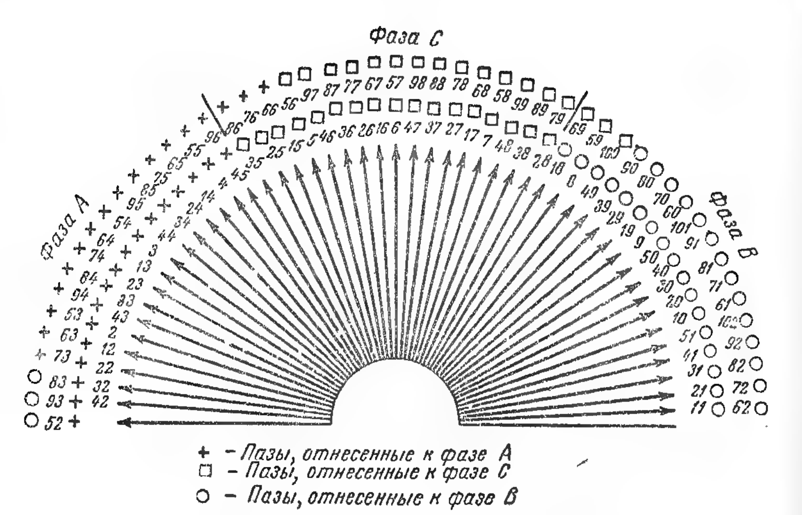



Рис. П2-4. Звезда пазов трехфазной обмотки, соответствующая рис. П2-1, со второй повторяющейся частью, смещенной на $3\alpha_m$ относительно первой части.

В то время как круговое смещение катушек в пределах той же самой повторяющейся части изменяет коэффициенты распределения основной и высших гармоник, смещение повторяющихся частей по отношению одна к другой вводит второй коэффициент укорочения, который уменьшает амплитуды основной и высших гармоник, не оказывая влияния на их коэффициенты распределения. Схемы обмоток со смещением повторяющихся частей составляются для максимального коэффициента распределения основной гармоники.

Обмотка на рис. П2-4 имеет 4 повторяющиеся части, но на рисунке показаны только 2 из них. Четвертая часть обмотки смещена по отношению к третьей на то же число углов $\alpha_m$, что и вторая часть по отношению к первой. Первая и третья части, а также вторая и четвертая части будут занимать при этом соответственно одинаковое положение в звезде пазов. Смещение на рис. П2-4 сделано по стрелке часов. Оно может быть также сделано против стрелки часов. В этом случае для смещения, равного $3\alpha_m$, последние 3 паза фазы $A$ (*65*, *55*, *96*) отнесены к фазе $C$, последние 3 паза фазы $C$ (*99*, *89*, *79*) отнесены к фазе $B$ и последние 3 паза фазы $B$ (*82*, *72*, *62*) отнесены к фазе $A$.

Смещение повторяющихся частей по отношению одна к другой уменьшает максимальное возможное число параллельных ветвей. Обмотка на рис. П2-4 может иметь только 2 параллельные ветви, тогда как основная ее схема позволила бы иметь 4 параллельные ветви. Если необходимо уменьшить несколько высших гармоник, то можно комбинировать круговое смещение в пределах одной и той же повторяющейся части и смещение повторяющихся частей по отношению одна к другой. В этом случае сначала надо сделать круговое смещение и определить соответствующее распределение пазов и затем части сместить по отношению одна к другой.

---

*ПРИЛОЖЕНИЕ 3*

## СИММЕТРИЧНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ С 1 И 2 УКОРОЧЕНИЯМИ

**П3-1. $D$-ряды и $y$-ряды.** Любая обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу, которая может быть выполнена как симметричная петлевая обмотка, может быть также выполнена и как симметричная волновая обмотка. Таким образом, если условия симметрии петлевой обмотки, выраженные уравнениями (П1-7), удовлетворяются, то волновая обмотка будет симметричной.

Схема волновой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу **всегда** составляется по отношению к **основной гармонике**, т. е. для максимального коэффициента распределения этой гармоники (см. П1-3). Круговое смещение катушек от одной фазы к другой в пределах одной и той же повторяющейся группы здесь не может быть применено. Пазы, принадлежащие 3 фазам, могут быть найдены или из звезды пазов, или из $D$-рядов. Для этого надо первые $N$ пазов $\left(q = \frac{N}{d}\right)$ отнести к фазе $A$, следующие $N$ пазов — к фазе $C$ и последние $N$ пазов — к фазе $B$ (см. П1-3).

При 2 проводниках в пазу, по 1 в каждом слое, звезда пазов показывает положение в магнитном поле не только пазов, но и верхних, а также нижних проводников. Предполагая вначале, что в пазу имеются только 2 проводника, получим, что 2 верхних проводника петлевой обмотки, следующих один за другим при их соединении, лежат в соседних пазах, например в пазах *1* и *2* или пазах *3* и *4* и т. д. По-другому выполняются соединения в волновой обмотке. В последней 2 следующих один за другим верхних проводника лежат в пазах, смещенных на $y$ пазовых делений, где $y$ — шаг обмотки, измеренный пазовыми делениями, т. е. **следующие один за другим верхние** (или **нижние**) проводники волновой обмотки должны образовать $y$-ряд:

$$1,\ 1+y,\ 1+2y,\ 1+3y, \dots \qquad (\text{П3-1})$$

Пазы, отнесенные к фазе, образуют $D$-ряды, а их последовательность вдоль окружности статора или ротора должна образовать $y$-ряды. Задача составления схемы симметричной волновой обмотки состоит в **координации** $D$-рядов и $y$-рядов обмотки.

**П3-2. Шаг обмотки.** Шаг обмотки должен быть приблизительно равен 2 полюсным делениям. При двух проводниках в пазу число верхних (или нижних) проводников на $d$ полюсных делений равно $mN$ и шаг обмотки должен отличаться от $\frac{mN}{d/2}$, т. е. он должен быть

$$y = \frac{2mN + a}{d}, \qquad \text{(П3-2)}$$

где $a$ — наименьшее целое число, при котором $y$ будет целым числом; $a$ может быть положительным или отрицательным. В следующем параграфе будет показано, что величина $a$ определяет тип координации $D$-рядов и $y$-рядов и тем самым число частей обмотки в каждой фазе. Кроме того, будет показано, что знак $a$ определяет направление следования обмотки: или такое же, как направление следования нумерации пазов (по часовой стрелке), или противоположное (против стрелки часов).

Уравнение (П3-2) можно переписать в следующем виде [см. уравнение (П1-1)]:

$$y = \frac{2mN + a}{d} = 2mq + \frac{a}{d} = 2mb + 2m\frac{c}{d} + \frac{a}{d}. \qquad \text{(П3-2а)}$$

Для трехфазных обмоток

$$y = 6b + \frac{6c + a}{d}. \qquad \text{(П3-3)}$$

Так как $y$ должно быть целым числом, то и $\frac{(6c + a)}{d}$ должно быть целым числом, т. е. величина и знак $a$ зависят не от целой части $q$, а только от дроби $\frac{c}{d}$. Например, $a$ может быть одним и тем же для $q = 1\frac{1}{5}$, $2\frac{1}{5}$, $3\frac{1}{5}$... В табл. 7-44 даны значения и знаки $a$ для различных дробей $\frac{c}{d}$.

Шаг обмотки разделяется на задний шаг $y_з$ и передний шаг $y_п$, так что $y = y_з + y_п$.

**П3-3. Составление схемы симметричной волновой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу с 1 укорочением.** Как и в симметричной петлевой обмотке с дробным числом пазов на полюс и фазу, число повторяющихся частей обмотки здесь равно $\frac{2p}{d}$ [уравнение (П1-7)]; следовательно, число звезд пазов также равно $\frac{2p}{d}$.

Вследствие того, что каждые $\frac{2p}{d}$ катушек волновой обмотки обходят всю окружность ротора или статора, рассмотрение волновой обмотки не может быть ограничено 1 повторяющейся частью, но должно включать в себя все $\frac{2p}{d}$ повторяющиеся



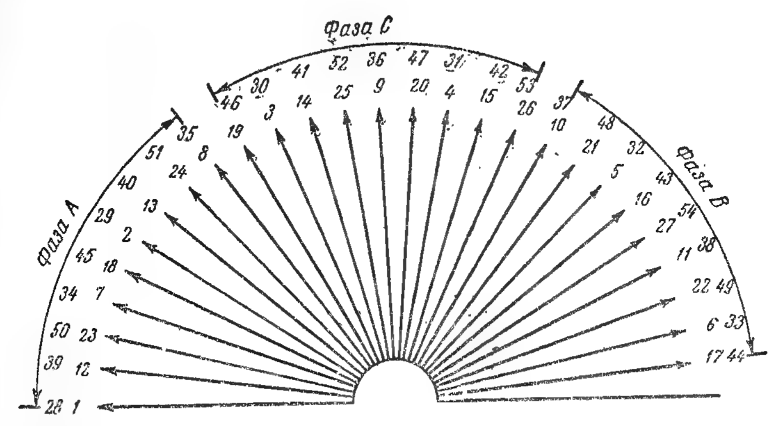



Рис. П3-1. Звезда пазов трехфазной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, $q = 1^4/_5$ и $2p = 10$, показывающая положение векторов 2 $D$-рядов.

части. Это означает, что в случае волновой обмотки все $\frac{2p}{d}$ звезд пазов или, что одно и то же, все $\frac{2p}{d}$ $D$-рядов должны быть рассмотрены одновременно. Если пазы обмотки пронумерованы следующими одно за другим числами, то звезда пазов второй повторяющейся части получается из звезды пазов первой повторяющейся части прибавлением величины $mN$ ко всем числам последней звезды пазов. То же самое применимо и к $D$-рядам. Если первый $D$-ряд составлен, то второй $D$-ряд получается прибавлением $mN$ к числам первого ряда, третий—прибавлением $mN$ к числам второго $D$-ряда и так далее. $\frac{2p}{d}$ $D$-рядов представляют верхние (или нижние) проводники всей обмотки.

Векторы $\frac{2p}{d}$ звезд пазов совпадают, т. е. если $D$-ряды написать один над другим, то $\frac{2p}{d}$ проводников, находящихся в одном и том же столбце, будут равнофазными и могут быть взаимно заменяемы. Это обстоятельство делает возможным составление схем симметричных волновых обмоток.

Метод составления схемы симметричной волновой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу при 1 укорочении и влияние величины и знака $a$ [уравнение (П3-2)] покажем на нескольких примерах.

а) $a = +1$. Из уравнений (П1-4) и (П3-1) следует, что в данном случае $y = D$, т. е. $D$-ряды и $y$-ряды идентичны. Следовательно, обмотка может быть выполнена при использовании следующих один

за другим векторов звезды пазов и соответствующих им равнофазных векторов или, что то же самое, при использовании следующих одно за другим чисел $\frac{2p}{d}$ $D$-рядов.

Показанная на рис. П3-1 трехфазная обмотка служит примером для $a=+1$. Для этой обмотки $q=1\frac{4}{5}$, $N=9$, $d=5$. Из уравнения (П1-5) имеем:

$$D=\frac{3\times 9\times P+1}{5}=11 \text{ при } P=2$$

и из уравнения (П3-2)

$$y=\frac{6\times 9+a}{5}=11=D \text{ при } a=+1.$$

Если машина имеет 10 полюсов, то получаем $\frac{10}{5}=2$ $D$-ряда. Для фазы $A$ они следующие:

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12 | 23 | 7 | 18 | 2 | 13 | 24 | 8 | $D$-ряды |
| 28 | 39 | 50 | 34 | 45 | 29 | 40 | 51 | 35 | |

Отсюда получаем 2 $y$-ряда, т. е. 2 части обмотки для фазы $A$:

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12 | 23 | 34 | 45 | 2 | 13 | 24 | 35 | $y$-ряды |
| 28 | 39 | 50 | 7 | 18 | 29 | 40 | 51 | 8 | |

При составлении $y$-рядов было использовано то обстоятельство, что проводники, находящиеся в одном и том же столбце, равнофазны и могут быть взаимно заменяемы. Обмотка наматывается по стрелке часов, т. е. в соответствии с порядком нумерации пазов, так как $a$ положительно.

б) $a=-1$. В этом случае $y=mN-D$ и $y$-ряд должен определяться по звезде пазов или $D$-ряду в направлении, противоположном порядку нумерации пазов. Рассмотрим 10-полюсную трехфазную обмотку при $q=2\frac{1}{5}$. Для этой обмотки $N=11$, $d=5$ и

$$D=\frac{33\times P+1}{5}=20 \text{ при } P=3;$$

$$y=\frac{6\times 11+a}{5}=13 \text{ при } a=-1;$$

$$y=mN-D=33-20=13.$$

$D$-ряды этой обмотки для фазы $A$:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 21 | 8 | 28 | 15 | 2 | 22 | 9 | 29 | 16 | 3 | $D$-ряды |
| 34 | 54 | 41 | 61 | 48 | 35 | 55 | 42 | 62 | 49 | 36 | |



Обращаясь к этим рядам, $y$-ряды найдем, если будем брать числа в направлении справа налево. Например, в первом $D$-ряде

$$3,\quad 3+13=16,$$
$$16+13=29,$$
$$29+13=42-mN=9\ldots$$

Данная обмотка наматывается против стрелки часов, так как $a$ отрицательно. 2 $y$-ряда, т. е. 2 части обмотки для фазы $A$:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 41 | 28 | 15 | 2 | 55 | 42 | 29 | 16 | 3 | $y$-ряды |
| 34 | 21 | 8 | 61 | 48 | 35 | 22 | 9 | 62 | 49 | 36 | |

в) $a=+2$. В этом случае $y=2D$ и $y$-ряды будут представлены числами $D$-рядов, следующими через одно. Это приводит к удвоенному числу частей в каждой фазе по сравнению со случаем, когда $a=\pm 1$. Обмотка наматывается по стрелке часов, так как $a$ положительно. Рассмотрим 10-полюсную трехфазную обмотку при $q=3\frac{3}{5}$. Для этой обмотки $N=18$, $d=5$ и

$$D=\frac{54\times P+1}{5}=11 \text{ при } P=1;$$

$$y=\frac{6\times 18+a}{5}=22 \text{ при } a=+2;$$

$$y=2D=22.$$

$D$-ряды этой обмотки для фазы $A$:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12 | 23 | 34 | 45 | 2 | 13 | 24 | 35 | 46 | 3 | 14 | 25 | 36 | 47 | 4 | 15 | 26 | $D$-ряды |
| 55 | 66 | 77 | 88 | 99 | 56 | 67 | 78 | 89 | 100 | 57 | 68 | 79 | 90 | 101 | 58 | 69 | 80 | |

4 $y$-ряда, т. е. 4 части обмотки для фазы $A$:

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 23 | 45 | 67 | 89 | 3 | 25 | 47 | 69 | |
| 12 | 34 | 56 | 78 | 100 | 14 | 36 | 58 | 80 | $y$-ряды |
| 55 | 77 | 99 | 13 | 35 | 57 | 79 | 101 | 15 | |
| 66 | 88 | 2 | 24 | 46 | 68 | 90 | 4 | 26 | |

Первая и вторая части обмотки не будут равнофазными и поэтому должны быть соединены последовательно. То же самое применимо к третьей и четвертой частям обмотки. Если $N$ — нечетное число, то первая и третья части обмотки имеют на 1 катушку больше, чем вторая и четвертая части обмотки.

г) $a=-2$ и $a>2$. В случае $a=-2$, $y=2(mN-D)$ и $y$-ряд может быть представлен, как и в случае $a=+2$, следующими через одно числами $D$-ряда. Однако в данном случае $y$-ряд следует в направлении,

противоположном $D$-ряду, подобно случаю $a=-1$, и обмотка наматывается против стрелки часов. Также при $a>2$ обмотка наматывается по стрелке часов, когда $a$ положительно, и против стрелки часов, когда $a$ отрицательно. В общем случае для любого значения $a$ число частей каждой фазы равно $\frac{2p}{d}\times a$.

Предполагалось, что имеются только 2 проводника в пазу. Если число проводников в пазу больше 2, обмотку можно рассматривать как имеющую число пазов, равное действительному числу пазов, умноженному на число проводников в 1 слое паза. При этом каждый паз будет иметь только 2 проводника и могут быть применены приведенные выше правила для составления схемы волновой обмотки (см. § 7-1). Подробные указания по составлению схем симметричных волновых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу и ряд примеров были приведены в § 7-4—7-13.

Волновые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, рассмотренные в предыдущем, являются симметричными обмотками, имеющими такие же кривые э. д. с. и н. с., как и соответствующие петлевые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, потому что в обоих типах обмоток к 3 фазам отнесены одни и те же пазы. Также и максимальное возможное число параллельных ветвей будет тем же самым, как у петлевой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Сравнивая рассмотренные здесь волновые обмотки с модифицированными обмотками машин постоянного тока, о которых говорилось в гл. 6, видим, что последние имеют только 2 части обмотки на фазу независимо от числа полюсов. Число частей обмотки для рассмотренных здесь обмоток зависит от величины $a$. С другой стороны, модифицированные обмотки машин постоянного тока имеют ненормальные передние шаги после каждых $p$ катушек, тогда как здесь все катушки имеют одинаковые передние шаги.

**П3-4. Симметричные волновые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу с двойным укорочением.** Смещение повторяющихся частей обмотки по отношению одна к другой, которое рассматривалось для петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу в П2-2, может быть применено также к волновым обмоткам с дробным числом пазов на полюс и фазу. Это обусловлено тем, что последние обмотки выполняются, как и петлевые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, для максимального значения коэффициента распределения основной гармоники (см. П3-1).

В П2-2 указывалось, что смещение повторяющихся частей, т. е. второе укорочение, делается для уменьшения нежелательных высших гармоник. Четные части (2, 4, ...) смещаются по отношению к нечетным частям (1, 3, ...) на некоторое известное число следующих друг за другом векторов звезды пазов, т. е. на некоторое известное число углов $\alpha_m$ в магнитном поле [уравнение (П1-3)]. Это число углов будем обозначать через $k$. Рассмотрим случаи $a=\pm 1$ и $a=\pm 2$ [см. уравнение (П3-2)]. Как и в случае обмоток с одним укорочением (П3-3), величина $a$ определяет число частей обмотки (волн) в каждой фазе, а знак $a$ указывает, наматывается ли обмотка по стрелке часов или против стрелки часов.

**а) $a=\pm 1$.** При составлении схемы обмотки с двойным укорочением для данного случая необходимо придерживаться следующих правил:



1. Применить 5 правил („а" — „д"), приведенных в § 7-9 для обмоток с 1 укорочением при $a=\pm 1$.

2. Определить также для фаз $C$ и $B$ $\frac{2p}{d}$ $y$-рядов, т. е. проводники, принадлежащие $\frac{2p}{d}$ волнам (одна волна над другой).

3. Прибавить $k$ проводников последующих $y$-рядов к концу первой волны фазы $A$.

4. Выключить $k$ проводников в начале второй волны фазы $A$.

5. Обратиться к первым 2 волнам для фазы $C$. Если $k$ проводников, прибавленных к первой волне фазы $A$, лежат во второй волне фазы $C$, то с первыми 2 волнами фазы $C$ надо поступить так же, как с первыми 2 волнами фазы $A$. С другой стороны, если $k$ проводников, прибавленных к первой волне фазы $A$, лежат в первой волне фазы $C$, то $k$ проводников надо прибавить к концу второй волны и вычесть из начала первой волны.

6. Обратиться к фазе $B$ и поступить с ней по отношению к фазе $C$ так же, как это было сделано с фазой $C$ в соответствии с п. 5 по отношению к фазе $A$.

7. Намотать на каждую пару волн из первых $N+k$ проводников большую волну и соединить поворотным соединением последний проводник этой волны с последним проводником меньшей волны, состоящей из $N-k$ проводников. Затем намотать последнюю волну в направлении, обратном направлению намотки большей волны.

Полное число волн в каждой фазе равно $\frac{2p}{d}$. Так как волны соединяются по 2 последовательно, максимальное число параллельных ветвей будет равно $\frac{p}{d}$, т. е. половине числа параллельных ветвей волновых обмоток с 1 укорочением.

Применение указанных правил покажем на примере трехфазной 10-полюсной обмотки с $q=2\frac{1}{5}$, рассмотренной в п. „б" § П3-3. Обмотка наматывается против стрелки часов при $a=-1$. $y$-ряды обеих повторяющихся частей следующие:

для фазы $A$

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 41 | 28 | 15 | 2 | 55 | 42 | 29 | 16 | 3 | $y$-ряды |
| 34 | 21 | 8 | 61 | 48 | 35 | 22 | 9 | 62 | 49 | 36 | |

для фазы $C$

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 10 | 63 | 50 | 37 | 24 | 11 | 64 | 51 | 38 | 25 | $y$-ряды |
| 56 | 43 | 30 | 17 | 4 | 57 | 44 | 31 | 18 | 5 | 58 | |

для фазы $B$

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 65 | 52 | 39 | 26 | 13 | 66 | 53 | 40 | 27 | 14 | $y$-ряды |
| 45 | 32 | 19 | 6 | 59 | 46 | 33 | 20 | 7 | 60 | 47. | |

Две волны каждой фазы будут смещены по отношению одна к другой на $k = 3\alpha_m$. Волны 3 фаз будут:

| | |
|---|---|
| 1 54 41 28 15 2 55 42 29 16 3 56 43 30<br>61 48 35 22 9 62 49 36 | фаза $A$ |
| 23 10 63 50 37 24 11 64 51 38 25 12 65 52<br>17 4 57 44 31 18 5 58 | фаза $C$ |
| 39 26 13 66 53 40 27 14<br>45 32 19 6 59 46 33 20 7 60 47 34 21 8 | фаза $B$ |

В соответствии с $k = 3$ три проводника *(56, 43, 30)* прибавлены к концу первой волны фазы $A$. Эти 3 проводника соответствуют $y$-ряду ($3 + 66 - 13 = 56$, $56 - 13 = 43$, $43 - 13 = 30$). В фазе $C$ эти 3 проводника лежат во второй волне, и поэтому к концу первой волны фазы $C$ также прибавлены 3 проводника (*12, 65, 52*). Так как по 3 проводника прибавлено к концам первых волн фаз $A$ и $C$, то по 3 проводника выключено от начал их вторых волн (соответственно *31, 21, 8* и *56, 43, 30*). Обращаясь к фазе $B$, видим, что 3 паза *(12, 65, 52)*, прибавленные к концу первой волны фазы $C$, лежат в первой волне этой фазы. Следовательно, 3 паза (*34, 21, 8*) прибавляются к концу второй волны фазы $B$ и 3 паза выключаются от начала ее первой волны.

Если принять, что $y_з = 6$ и $y_п = 7$ и что $y$-ряд представляет нижние проводники, то в фазе $A$ нижний проводник *30* соединяется с верхним проводником *24*, а нижний проводник *35* соединяется с верхним проводником *30*. Верхние проводники *24* и *30* соединяются поворотным соединением, и меньшая волна наматывается против большей волны. То же самое применяется к 2 другим фазам.

б) $a = \pm 2$. Так как в данном случае $y$-ряды будут представлены числами через одно $D$-рядов, каждая фаза состоит из 2 частей, а каждая часть из $\frac{2p}{d}$ волн. Каждую часть надо рассмотреть отдельно. Наименьшее смещение $y$-рядов одного по отношению к другому здесь равно $2 \times \alpha_m$, т. е. угол смещения равен двойному значению $k$. При составлении схемы этой обмотки необходимо придерживаться следующих правил:

1. Применить 6 правил („а"—„е"), приведенных в § 7-10 для обмотки с 1 укорочением при $a = \pm 2$.
2. Определить также для фаз $C$ и $B$ $\frac{2p}{d}$ $y$-рядов обеих обмоток.
3. Написать для 3 фаз отдельно $\frac{2p}{d}$ $y$-рядов **первой части обмотки**.
4. Применить правила 3—6, приведенные для случая $a = \pm 1$.
5. Соединить в пары длинные и короткие волны, числа проводников которых отличаются на $2\tau$, поворотными соединениями.
6. Повторить то же самое для второй части обмотки. Максимальное возможное число параллельных ветвей, как и для случая $a = \pm 1$, равно $\frac{p}{d}$, т. е. половине числа параллельных ветвей обмотки с 1 укорочением.



В качестве примера рассмотрим трехфазную 10-полюсную обмотку с $q = 2\frac{2}{5}$. Для этой обмотки $N = 12$, $d = 5$ и из уравнений (П1-5) и (П3-2)

$$D = \frac{3 \times 12 \times P + 1}{5} = 29 \text{ при } P = 4;$$

$$y = \frac{6 \times 12 + a}{5} = 14 \text{ при } a = -2.$$

$\frac{2p}{d} = 2$ $D$-ряда фазы $A$:

| | |
|---|---|
| 1 30 23 16 9 2 31 24 17 10 3 32<br>37 66 59 52 45 38 67 60 53 46 39 68 | $D$-ряды |

и $\frac{2p}{d} \times a = 4$ волны, т. е. 4 $y$-ряда фазы $A$:

| | |
|---|---|
| 1 59 45 31 17 3<br>37 23 9 67 53 39 | $y$-ряды первой части обмотки |
| 30 16 2 60 46 32<br>66 52 38 24 10 68 | $y$-ряды второй части обмотки. |

Соответственно для фазы $C$:

| | |
|---|---|
| 25 18 11 4 33 26 19 12 5 34 27 20<br>61 54 47 40 69 62 55 48 41 70 63 56 | $D$-ряды |
| 25 11 69 55 41 27<br>61 47 33 19 5 63 | $y$-ряды первой части обмотки |
| 18 4 62 48 34 20<br>54 40 26 12 70 56 | $y$-ряды второй части обмотки |

и для фазы $B$:

| | |
|---|---|
| 13 6 35 28 21 14 7 36 29 22 15 8<br>49 42 71 64 57 50 43 72 65 58 51 44 | $D$-ряды |
| 13 71 57 43 29 15<br>49 35 21 7 65 51 | $y$-ряды первой части обмотки |
| 6 64 50 36 22 8<br>42 28 14 72 58 44 | $y$-ряды второй части обмотки. |

Волны обеих частей обмотки для смещения $k = 2 (= 4\alpha_m)$:

первая часть обмотки

| | |
|---|---|
| $A$ | 1 59 45 31 17 3 61 47<br>9 6753 39 |
| $C$ | 25 11 69 55 41 27 13 71<br>33 19 5 63 |
| $B$ | 57 43 29 15<br>49 35 21 7 65 51 37 23 |

вторая часть обмотки

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *A* | 30 | 16 | 2 | 60 | 46 | 32 | 18 | 4 |
| | | | 38 | 24 | 10 | 68 | | |
| *C* | | | 62 | 48 | 34 | 20 | | |
| | 54 | 40 | 26 | 12 | 70 | 56 | 42 | 28 |
| *B* | 6 | 64 | 50 | 36 | 22 | 8 | 66 | 52 |
| | | | 14 | 72 | 58 | 44 | | |

Две части обмотки каждой фазы имеют э. д. с., не совпадающие по фазе, и поэтому должны соединяться последовательно (см. § 7-10). Рассмотренная обмотка не может иметь параллельных ветвей.

*ПРИЛОЖЕНИЕ 4*

## НЕСИММЕТРИЧНЫЕ ПЕТЛЕВЫЕ И ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Несимметричные обмотки выполняются для минимальной несимметрии и максимального коэффициента распределения основной гармоники.

Имеются 2 условия симметрии (см. § П1-5) и, следовательно, 2 вида несимметрии. Обмотка всегда будет несимметричной, если число пазов не кратно числу фаз, т. е. $\frac{Z}{m} \neq$ целому числу $\left(\frac{2p}{d} \neq \right.$ $\neq$ целому числу$\left.\right)$. Обмотка также будет несимметричной при числе пазов, кратном числу фаз, если число полюсов на одну повторяющуюся часть кратно числу фаз, т. е. $\frac{d}{m} =$ целому числу. В первом случае 1 или 2 катушки удаляются, чтобы получилось одинаковое число катушек для всех фаз.

Второй вид несимметрии, т. е. случай, когда $\frac{d}{m} =$ целому числу и $\frac{Z}{m} =$ целому числу, будет рассмотрен первым.

В симметричных обмотках с дробным числом пазов на полюс и фазу пазы $d$ полюсов можно представить одной звездой пазов, занимающей половину круга. Этого нельзя сделать для несимметричных обмоток. Также уравнение (П1-5), являющееся основным для симметричных обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу, не может быть применено для несимметричных обмоток.

**П4-1. Несимметричные петлевые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу при $\frac{Z}{m}$, равном целому числу, и $\frac{d}{m}$, равном целому числу.** Как пример рассмотрим 3-фазную 12-полюсную обмотку с 42 пазами. Для этой обмотки $q = \frac{7}{6}$, $N=7$, $d=6$. Угол между 2 пазами равен [уравнение (П1-2)]:

$$\alpha_z = \frac{180 \times 6}{3 \times 7} = 51\frac{3^\circ}{7}.$$

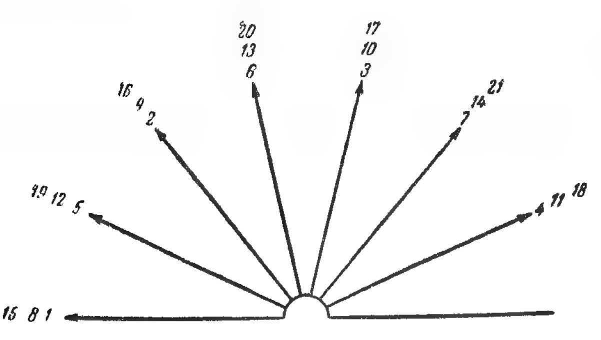



Рис. П4-1. Звезда пазов несимметричной трехфазной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, $q = 1^1/_6 \left(\frac{Z}{m}\text{ равно целому числу}\right)$.

Используя паз *1* как начало, получим углы между этим пазом и 20 следующими пазами, приходящимися на $d = 6$ полюсов:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | $51\frac{3}{7}$ | $102\frac{6}{7}$ | $154\frac{2}{7}$ | $205\frac{5}{7}$ | $257\frac{1}{7}$ | $308\frac{4}{7}$ | 360 | $51\frac{3}{7}$ | $102\frac{6}{7}$ | $154\frac{2}{7}$ ... |

Вычитая угол 180° или кратный ему, по тем же причинам, по каким это делалось для симметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу (см. П1-2), получим углы:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | $51\frac{3}{7}$ | $102\frac{6}{7}$ | $154\frac{2}{7}$ | $25\frac{5}{7}$ | $77\frac{1}{7}$ | $128\frac{4}{7}$ |

| 8 | 9 | 10 | 11 | 12... |
|---|---|---|---|---|
| 0 | $51\frac{3}{7}$ | $102\frac{6}{7}$ | $154\frac{2}{7}$ | $25\frac{5}{7}$ |

Можно видеть, что только $N$ пазов образуют звезду пазов, занимающую половину круга, в отличие от симметричной петлевой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, для которой $mN$ пазов образуют такую же звезду пазов. $mN$ пазов, приходящихся на $d$ полюсов, образуют не 1 звезду, а $m$ звезд пазов с $N$ пазами в каждой. Пазы $(1, 1+N, 1+2N)$, пазы $(2, 2+N, 2+2N)$ и т. д. будут соответственно равнофазными пазами. На рис. П4-1 показаны три звезды пазов рассматриваемой обмотки.

Угол в магнитном поле

$$\alpha_m = \frac{180°}{N} \tag{П4-1}$$

и

$$\alpha_z/\alpha_m = d/m, \tag{П4-2}$$



т. е. между двумя векторами, соответствующими 2 соседним пазам в машине, лежат $\left(\frac{d}{m} - 1\right)$ других векторов. В примере $\frac{d}{m} = \frac{6}{3} = 2$, поэтому между пазами *1* и *2*, *2* и *3* и т. д. лежит 1 другой вектор.

Как и для симметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу, векторы всех 3 звезд пазов следуют один за другим в соответствии с известным $D$-рядом. Для обмотки рассматриваемого примера имеем следующий $D$-ряд:

$$1,\ 1 + 4 = 5,\ 1 + (2 \times 4 - N) = 2,\ 1 + (3 \times 4 - N) = 6,\ \ldots$$

Значение $D$, которое здесь равно 4, может быть найдено на основе тех же соотношений, которые применялись для симметричных обмоток (см. П1-2). Здесь также справедливо равенство

$$D \times \alpha_z = 180 \times P + \alpha_m.$$

Подставляя $\alpha_z$ из уравнения (П1-2) и $\alpha_m$ из уравнения (П4-1), получим:

$$D = \frac{mNP + m}{d}, \tag{П4-3}$$

где $P$ — наименьшее целое число, включая нуль, при котором $D$ получается целым числом. $P$ равно нулю, когда $d = m$.

Определив $D$, можно рассчитать $D$-ряды. Имеем $m$ $D$-рядов на $d$ полюсов.

Для обмотки примера (рис. П4-1) $m = 3$; следовательно, имеем 3 $D$-ряда:

| | A | | C | | | B |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 2 | 6 | 3 | 7 | 4 |
| 8 | 12 | 9 | 13 | 10 | 14 | 11 |
| 15 | 19 | 16 | 20 | 17 | 21 | 18 |

$D$-ряды для $d=6$ полюсов.

Каждый последующий ряд получается из предыдущего ряда прибавлением к числам последнего $N$ (здесь $N = 7$). $m$ пазов, находящихся в одном и том же столбце, — равнофазные пазы.

Максимальный коэффициент распределения для основной гармоники получим, если $mN$ пазов, представленных $m$ (здесь $m=3$) рядами, разделим на $m$ частей таким образом, чтобы каждая часть, т. е. каждая фаза, содержала $N$ пазов и чтобы эти $N$ пазов были возможно ближе один к другому.

Один из многих способов распределения пазов между 3 фазами для обмотки примера указан при помощи ломаных линий. Числа единичных катушек, отнесенные к 3 фазам в 3 $D$-рядах:

| A | C | B |
|---|---|---|
| 3 | 2 | 2 |
| 2 | 3 | 2 |
| 2 | 2 | 3 |

Можно также использовать одну из следующих комбинаций:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$ | $C$ | $B$ | $A$ | $C$ | $B$ | $A$ | $C$ | $B$ |
| 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 и т. д. |

Все эти комбинации идентичны в отношении несимметрии, т. е. все они имеют одинаковые разности между амплитудами э. д. с. и н. с., а также одинаковые отклонения по углу между э. д. с. и н. с. Но группировка катушек, т. е. последовательность больших и малых полюсно-фазных групп, не одна и та же для всех комбинаций.

Группировка катушек, соответствующая комбинации, указанной ломаными линиями, для $d=6$ полюсов:

2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
$A$ $C$ $B$ $A$ $C$ $B$ $A$ $C$ $B$ $A$ $C$ $B$ $A$ $C$ $B$ $A$ $C$ $B$.

Приведенная группировка катушек относится к $d$ полюсам. Полная обмотка состоит из $\frac{2p}{d}$ повторений этой группировки; следовательно, максимальное возможное число параллельных ветвей — $\frac{2p}{d}$. То же самое было получено для симметричной петлевой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу. Как и для последней, надо рассмотреть только $d$ полюсов.

Уравнение [см. уравнение (П1-1)]

$$q = b + \frac{c}{d} \tag{П4-4}$$

также означает, что каждая фаза имеет на $d$ полюсов $c$ полюсно-фазных групп с $(b+1)$ единичными катушками и $(d-c)$ полюсно-фазных групп с $b$ единичными катушками.

Для обмотки примера $b=1$, $c=1$, $d=6$ каждая фаза имеет на $d=6$ полюсов $c=1$ полюсно-фазную группу с $(b+1)=2$ единичными катушками и $(d-c)=6-1=5$ полюсно-фазных групп с $b=1$ единичной катушкой.

Упрощения, применяемые при составлении схем и таблиц симметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу (П1-3), для рассматриваемых здесь обмоток могут быть применены лишь частично. Последовательность больших и малых полюсно-фазных групп не зависит от величины $b$ [уравнение (П4-4)], точно так же как для симметричных обмоток. Однако группировка катушек, полученная для $d$ полюсов, не будет представлять собой повторения $m$ одинаковых частей, поэтому недостаточно рассмотреть распределение только $d$ полюсно-фазных групп, как это делалось для симметричной обмотки. Для рассматриваемых здесь обмоток все $m \times d$ полюсно-фазные группы $d$ полюсов представляют собой совокупность, которая повторяется $\frac{2p}{d}$ раз.

Правила, приведенные в § 5-4 и 5-6, для составления схем симметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу при $Z/m$, равном целому числу, и $d/m$, равном целому числу, и



табл. 5-1 и 5-2 для группировок катушек получены на основе предыдущих заключений.

**П4-2. Несимметричные петлевые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу при $Z/m$, не равном целому числу.** Если $Z/m$ не равно целому числу, то $d/m$ — целое число и, следовательно, оба условия симметрии не удовлетворяются. В случае, когда $Z/m$ не равно целому числу, должна быть рассмотрена вся обмотка, а не только ее часть, приходящаяся на $d$ полюсов.

Если $t$ — общий делитель всего числа пазов $Z$ и числа полюсов $2p$, то получаем $t$ частей обмотки, которые имеют одно и то же положение в магнитном поле, и следовательно, $t$ звезд пазов с $Z/t$ пазами в каждой. $t$ может быть равно 1.

Если [см. уравнение (П1-1)]

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{N}{d}, \tag{П4-5}$$

где $Z$ не кратно $m$, $Z$ и $2p$ имеют общий делитель $t$, а $N$ и $d$ не имеют общего делителя, то

$$Z = N \times t \text{ и } 2pm = d \times t,$$

или

$$N = \frac{Z}{t}. \tag{П4-6}$$

Так как в звезде пазов, занимающей половину круга, имеется $\frac{Z}{t} = N$ пазов, то угол в магнитном поле

$$\alpha_m = \frac{180°}{Z/t} = \frac{180°}{N}. \tag{П4-7}$$

Отношение

$$\alpha_z/\alpha_m = \frac{d}{m}, \tag{П4-8}$$

т. е. между 2 векторами, которые соответствуют 2 соседним пазам в машине, лежат $\left(\frac{d}{m} - 1\right)$ других векторов.

Уравнение (П4-7) не отличается от уравнения (П4-1), которое применяется для несимметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу при $Z/m$, равном целому числу, и $d/m$, равном целому числу. Поэтому и уравнение для $D$ будет таким же, как для последних несимметричных обмоток [уравнение (П4-3)]:

$$D = \frac{mNP + m}{d}, \tag{П4-9}$$

где $P$ — наименьшее целое число, включая нуль, при котором $D$ будет целым числом.

Имеем $t$ $D$-рядов для всей обмотки с $N$ пазами в каждой. Каждый последующий $D$-ряд получается из предыдущего ряда прибавлением $N$ к числам последнего ряда. $t$ пазов, которые находятся в одном и том же столбце,—равнофазные пазы.

Также и здесь максимальный коэффициент распределения основной гармоники получим, если пазы, представляющие $t$ $D$-рядов, разделим на $m$ частей таким образом, чтобы каждая часть, т. е. каждая фаза, состояла из одного и того же числа пазов и чтобы пазы каждой фазы были возможно ближе один к другому. Так как $Z$ не кратно $m$, то равные числа пазов в каждой фазе могут быть получены только при удалении некоторого числа катушек (которое обычно меньше $m$). При распределении $Z$ пазов между $m$ фазами не требуется иметь одно и то же число больших и малых полюсно-фазных групп для каждой фазы. Последовательность больших и малых полюсно-фазных групп зависит от схемы обмотки, а также числа и расположения удаленных катушек.

Отметим далее, что уравнение (П4-4), которое применяется при определении чисел больших и малых полюсно-фазных групп для симметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу и несимметричных обмоток с $d/m$, равным целому числу, здесь неприменимо.

Приведенные в § 5-5 и 5-6 правила для составления схем несимметричных петлевых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу с $Z/m$, не равным целому числу, и табл. 5-5 и 5-6 группировок катушек соответствуют максимальному коэффициенту распределения основной гармоники и минимальной несимметрии.

Данные о возможном числе параллельных ветвей приведены в § 5-5.

**П4-3. Сравнение симметричных и несимметричных петлевых обмоток.** В последующей таблице приводятся для сравнения основные отличительные признаки симметричных и несимметричных петлевых обмоток на основе указаний приложения 1 и § П4-1 и П4-2.

| | Симметричные (см. приложение 1) | Несимметричные с $Z/m$ = целому числу (§ П4-1) | Несимметричные с $Z/m \neq$ целому числу (§ П4-2) |
|---|---|---|---|
| Число звезд пазов = числу $D$-рядов | $2p/d$ | $m\,(2p/d)$ | $t$ = общему делителю $Z$ и $2p$ |
| Число пазов в каждой звезде пазов = числу пазов в каждом $D$-ряде | $mN$ | $N$ | $N$ |
| Число повторяющихся частей обмотки = максимальному числу параллельных ветвей | $2p/d$ | $2p/d$ | Зависит от схемы обмотки, числа и расположения удаленных катушек. Максимум = $t$ |



| | Симметричные (приложение 1) | Несимметричные с $Z/m$ = целому числу (§ П4-1) | Несимметричные с $Z/m \neq$ целому числу (§ П4-2) |
|---|---|---|---|
| Последовательность больших и малых полюсно-фазных групп | Зависит от $c/d$ | Зависит от $c/d$ | Зависит от схемы обмотки, числа и расположения удаленных катушек |
| $\alpha_m$ | $\frac{180}{mN}$ | $\frac{180}{N}$ | $\frac{180}{N}$ |
| $\frac{\alpha_z}{\alpha_m}$ | $d$ | $d/m$ | $d/m$ |
| Число векторов, лежащих в звезде пазов между двумя соседними пазами = числу, заключенному в $D$-ряде между следующими одно за другим числами | $d-1$ | $\frac{d}{m}-1$ | $\frac{d}{m}-1$ |
| $D=$ | $\frac{mNP+1}{d}$ $P=1,\ 2,\ 3\ldots$ | $\frac{mNP+m}{d}$ $P=0, 1, 2\ldots$ | $\frac{mNP+m}{d}$ $P=0,\ 1,\ 2\ldots$ |
| Разность между двумя числами, лежащими в одном и том же столбце двух следующих один за другим $D$-рядов | $mN$ | $N$ | $N$ |

**П4-4. Несимметричные волновые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу при $Z/m$, равном целому числу, и $d/m$, равном целому числу.** Несимметричные волновые обмотки получаются из несимметричных петлевых обмоток таким же образом, как и симметричные волновые обмотки получаются из симметричных петлевых обмоток. Один и тот же $D$-ряд, т. е. одно и то же значение $D$, применяется к симметричным петлевым и волновым обмоткам. То же самое делается и для несимметричных петлевых и волновых обмоток. Таким образом, уравнение (П4-3) применимо к несимметричным волновым обмоткам.

Как для несимметричных петлевых обмоток с $Z/m$, равным целому числу, получаем также всего $m \times \left(\frac{2p}{d}\right) = \frac{Z}{N}$ $D$-рядов с $N$ на-

зами (или верхними, или нижними проводниками; см. П3-1 и П3-3) в каждом. В несимметричных волновых обмотках все $m \times \left(\frac{2p}{d}\right)$ $D$-рядов, а следовательно, все пазы машины должны рассматриваться одновременно, тогда как в случае симметричной волновой обмотки достаточно рассмотреть только $\frac{2p}{d}$ рядов 1 фазы.

После того как составлены на основе уравнения (П4-3) $m \times \left(\frac{2p}{d}\right) = \frac{Z}{N}$ $D$-рядов с $N$ пазами в каждом, должны быть составлены $y$-ряды и $Z$ пазов распределены между $m$ фазами. Вид распределения пазов зависит от величины $a$. Уравнение (П3-2) для шага обмотки, $y$, применимо также к несимметричным волновым обмоткам. В последующем рассмотрим только случаи, когда $d = 3, 6$ и 9. Уравнение (П3-2) дает для $d = 3$ и $d = 6$ значение $a = 0$ и для $d = 9$ значение $a = \pm 3$. Кроме того, имеем:

$$\left.\begin{array}{lll} y = 2N & \text{для } d = 3 & (a = 0); \\ y = N & \text{для } d = 6 & (a = 0); \\ y = D & \text{для } d = 9 \text{ и } a = +3; & \\ y = N - D & \text{для } d = 9 \text{ и } a = -3. & \end{array}\right\} \qquad (\text{П4-10})$$

Следующие друг за другом $D$-ряды отличаются один от другого на $N$, а следующие друг за другом пазы в каждом $D$-ряде отличаются один от другого на $D$. Следовательно, когда $d = 3$, следующие через один пазы вертикальных строк $D$-рядов дают $y$-ряды; когда $d = 6$, следующие один за другим пазы вертикальных строк $D$-рядов дают $y$-ряды, и когда $d = 9$, следующие один за другим пазы горизонтальных строк $D$-рядов дают $y$-ряды.

В случаях $d = 3$ и $d = 6$ значение $a = 0$. То же самое получается, когда $q$ равно целому числу. Следовательно, в этих случаях волновая обмотка выполняется так же, как и в случае, когда $q$ равно целому числу, т. е. с ненормальными передними шагами и 2 волнами в каждой фазе, независимо от числа полюсов. В § 8-5 было показано, что при $d = 3$ вначале лучше найти все непрерывные соединения и затем разделить полное число пазов (или верхних, или нижних проводников) на 6 равных частей и отнести первую и четвертую части к фазе $A$, вторую и пятую—к фазе $C$ и третью и шестую — к фазе $B$. То же самое применимо к случаю $d = 6$, однако здесь части *1, 3, 5* не равны частям *2, 4, 6* (см. § 8-6).

Когда $d = 9$, $m \times \left(\frac{2p}{d}\right) = \frac{Z}{N}$ $y$-рядов с $N$ пазами в каждом должны быть получены из $m \times \left(\frac{2p}{d}\right) = \frac{Z}{N}$ $D$-рядов и затем $y$-ряды должны быть разделены на $m$ частей таким образом, чтобы пазы, принадлежащие каждой фазе, были возможно ближе один к другому, что дает максимальный коэффициент распределения для основной гармоники. Каждая фаза состоит из $\left(\frac{2p}{d}\right) \times a$ волн (см. § 8-7).

Правила для составления схем несимметричных волновых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу при $Z/m$, равном целому числу, и соответствующие примеры приведены в гл. 8.



**П4-5. Несимметричные волновые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу при $Z/m$, не равном целому числу.** Уравнения (П4-7 и П4-9) применимы также к несимметричным волновым обмоткам с $Z/m$, не равном целому числу. Для этих обмоток значения $a$ и $y$ — такие же, как для несимметричных волновых обмоток с $Z/m$, равным целому числу [уравнение (П4-10)].

Так как $a = 0$ для $d = 3$ и $d = 6$, то обмотки должны выполняться в этих случаях, как обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу (как описано в П4-4).

В качестве примера рассмотрим трехфазную 8-полюсную обмотку с $q = 2\frac{1}{6}$ и 2 проводниками в пазу. Для этой обмотки $N=13$, $d=6$, $Z = 52$, $t = 4$,

$$D = \frac{3 \times 13 \times P + 3}{6} = 7 \text{ при } P = 1;$$

$$y = \frac{2 \times 3 \times 13 + a}{6} = 13 = N\,(a=0).$$

Получается

$$t = \frac{Z}{N} = \frac{2p}{d}\,m = \frac{52}{13} = \frac{8}{6} \times 3 = 4 \ D\text{-ряда с } \frac{Z}{t} = N = 13$$

пазами в каждом. Эти ряды следующие:

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *A* | | | | | *C* | | | | *B* | | *A* | |
| 1 | 8 | 2 | 9 | 3 | 10 | 4 | 11 | 5 | 12 | 6 | 13 | 7 | |
| 14 | 21 | 15 | 22 | 16 | 23 | 17 | 24 | 18 | 25 | 19 | 26 | 20 | |
| 27 | 34 | 28 | 35 | 29 | 36 | 30 | 37 | 31 | 38 | 32 | 39 | 33 | $D$-ряды |
| 40 | 47 | 41 | 48 | 42 | 49 | 43 | 50 | 44 | 51 | 45 | (52) | 46 | |

Одна катушка удаляется, чтобы получилось для всех 3 фаз одинаковое число катушек (верхних или нижних проводников). Каждая фаза будет иметь $\frac{51}{3} = 17$ пазов, т. е. 9 пазов в одной волне и 8 пазов в другой. 6 волн обмотки следующие:

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14 | 27 | 40 | 2 | 15 | 28 | 41 | | |
| 7 | 20 | 33 | 46 | 8 | 21 | 34 | 47 | 9 | фаза *A* |
| 3 | 16 | 29 | 42 | 4 | 17 | 30 | 43 | | |
| 22 | 35 | 48 | 10 | 23 | 36 | 49 | 11 | 24 | фаза *C* |
| 5 | 18 | 31 | 44 | 6 | 19 | 32 | 45 | | |
| 37 | 50 | 12 | 25 | 38 | 51 | 13 | 26 | 39 (52) | фаза *B* |

Удлиненные передние шаги получаются между проводниками *40* и *2*, *46* и *8*, *47* и *9*, *42* и *4* и т. д. Две параллельные ветви невозможны. Ломаные линии в $D$-рядах показывают, что пазы, отнесенные к 3 фазам, находятся близко один к другому.

Кружком отмечен паз, из которого 1 катушечная сторона (1 проводник) удаляется. Это паз *52*, т. е. последний проводник второй волны фазы $B$ удаляется. Как показано в П4-6, отклонение по величине для данного распределения очень мало (0,3%), а отклонение по углу —1°20′ для фазы $C$ и —2°40′ для фазы $B$. Отклонения по углу могут быть снижены до —18′ для фазы $C$ и —1°21′ для фазы $B$, если удалить проводник из паза *51* (а не из паза *52*), который лежит в середине второй волны фазы $B$. Отклонение по величине при этом не изменяется.

Когда $d=9$, $a$ равно +3 или —3. Общий делитель $t$ чисел $Z$ или $2p$, равный $Z/N$, определяет число $D$-рядов с $N$ пазами в каждом.

Как и в случае $Z/m$, равного целому числу (§ П4-4), $t=\frac{Z}{N}$ $y$-рядов должны быть получены из $D$-рядов и распределены между фазами, что будет пояснено на примере трехфазной 12-полюсной обмотки с $q=1\frac{2}{9}$ и 2 проводниками в пазу. Для этой обмотки $N=11$, $d=9$, $Z=44$, $t=\frac{Z}{N}=4$. Кроме того,

$$D=\frac{3\times 11\times P+3}{9}=4;$$

$$y=\frac{2\times 3\times 11+a}{9}=7=N-D\ (a=-3)$$

$t=4$ $D$-ряда следующие:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 9 | 2 | 6 | 10 | 3 | 7 | 11 | 4 | (8) | |
| 12 | 16 | 20 | 13 | 17 | 21 | 14 | 18 | 22 | 15 | 19 | $D$-ряды |
| 23 | 27 | 31 | 24 | 28 | 32 | 25 | 29 | 33 | 26 | (30) | |
| 34 | 38 | 42 | 35 | 39 | 43 | 36 | 40 | 44 | 37 | 41 | |

Так как $a=-3$, обмотка наматывается против стрелки часов. Получаем следующие $t=4$ $y$-ряда:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38 | 31 | 24 | 17 | 10 | 3 | 40 | 33 | 26 | 19 | |
| 12 | 5 | 42 | 35 | 28 | 21 | 14 | 7 | 44 | 37 | (30) | |
| 23 | 16 | 9 | 2 | 39 | 32 | 25 | 18 | 11 | 4 | 41 | $y$-ряды |
| 34 | 27 | 20 | 13 | 6 | 43 | 36 | 29 | 22 | 15 | (8) | |

Пазы, находящиеся в одном и том же столбце, — равнофазные пазы. В пазах *30* и *8* оставляется по 1 катушечной стороне (1 проводнику). Ломаные линии показывают распределение пазов между 3 фазами. Каждая фаза состоит из $\left(\frac{2p}{d}\right)\times a=4$ волн. Можно получить две параллельные ветви. В данном примере распределение выбрано таким образом, что 2 выключенные катушки (проводники) являются последними катушками (проводниками) 2 волн и что возможно осуществление 2 параллельных ветвей. При этом получаются большие отклонения по углу (см. § 5-5). Отклонение по величине — нуль; отклонения по углу равны —3°54′ для фазы $C$ и —5°27′ для фазы $B$. Сохраняя условия для образования 2 параллельных ветвей и выключая проводники в пазах *4* и *26* или *11* и *33* (вместо пазов *8* и *30*), которые не являются последними в волнах, получим отклонения по углу —3°54′ для фазы $C$ и —3°7′ для фазы $B$ и отклонение по величине 1,3%. В данном случае следует отказаться от осуществления 2 параллельных ветвей. Такое осуществление делает необходимым выключение равнофазных проводников, т. е. 2 проводников, находящихся в одном и том же столбце. Если для последовательного соединения взять следующее распределение:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38 | 31 | (24) | 17 | 10 | 3 | 40 | 33 | 26 | 19 | |
| 12 | 5 | 42 | 35 | 28 | 21 | 14 | 7 | 44 | 37 | 30 | |
| 23 | 16 | 9 | 2 | 39 | 32 | 25 | (18) | 11 | 4 | 41 | $y$-ряды |
| 34 | 27 | 20 | 13 | 6 | 43 | 36 | 29 | 22 | 15 | (8) | |

и выключить катушки в пазах *24* и *18*, то отклонения по углу будут +46′ для фазы $C$ и +1°32′ для фазы $B$. Отклонение по величине будет 0,15%.

Ряд примеров несимметричных волновых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу при $\frac{Z}{m}$, не равном целому числу, был приведен в § 8-8.

**П4-6. Определение величины несимметрии.** Метод для определения показателей несимметрии, поясненный на примерах в последующем, применяется как для петлевых, так и для волновых обмоток. В обоих случаях используются $D$-ряды обмоток, а распределение пазов между $m$ фазами может быть намечено ломаными линиями.

Для петлевых обмоток с $Z/m$, равным целому числу, должны быть рассмотрены $D$-ряды только $d$ полюсов, тогда как для петлевых обмоток с $Z/m$, не равным целому числу, и для всех волновых обмоток необходимо рассмотреть все $D$-ряды обмотки.

Метод для определения показателей несимметрии поясним на нескольких примерах.

**а) $Z/m$ равно целому числу.** Рассмотрим трехфазную 6-полюсную петлевую обмотку с $q=2\frac{2}{3}$. Для этой обмотки $N=8$, $d=3$ и $Z=48$. Так как $Z$ кратно $m$, то надо рассмотреть $m=3$ $D$-ряда только $d=3$ полюсов. Согласно уравнениям (П4-3) и (П4-1) имеем:

$$D=\frac{3\times 8\times P+3}{3}=1\ \text{с}\ (P=0)\quad \alpha_m=\frac{180°}{8}=22\frac{1°}{2}.$$

3 $D$-ряда с $N=8$ пазами в каждом следующие:

| A | | | | C | | B | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | $D$-ряды для $d=3$ полюсов. |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |

Ломаные линии отделяют 3 фазы одну от другой. Пазы, находящиеся в одном и том же столбце,— равнофазные пазы; следовательно, они могут рассматриваться как единичный паз.

Если провести центральную линию через фазу $C$ между единичными пазами (*4, 12, 20*) и (*5, 13, 21*), то можно будет видеть, что фазы $A$ и $B$ занимают симметричные положения относительно этой центральной линии. Поэтому достаточно рассчитать угол только между фазами $A$ и $C$, а также значения э. д. с. только фаз $A$ и $C$.

Расчеты можно упростить, если расссматривать группы единичных пазов, а не каждый единичный паз отдельно. Таким образом, в рассматриваемом примере единичные пазы (*1, 9, 17*) и (*2, 10, 18*) фазы $A$ можно рассматривать как группу; можно также рассматривать как группу единичные пазы (*4, 12, 20*) и (*5, 13, 21*) фазы $C$.

Если $N'$ — число единичных пазов в группе, то коэффициент распределения группы (см. П5-2) будет:

$$k_p = \frac{\sin N'(\alpha_m/2)}{N' \sin(\alpha_m/2)} \qquad (П4\text{-}11)$$

и для обмотки примера

$$k_p = \frac{\sin 2\,(22,5/2)}{2 \sin\,(22,5/2)} = 0{,}981.$$

Обращаясь к $D$-рядам, видим, что фаза $A$ состоит из 2 групп, одна из которых включает в себя пазы *1, 9, 17, 2, 10, 18*, а другая—пазы *3* и *19*. Фаза $C$ состоит из 3 групп, одна из них — паз *11*, другая содержит пазы *4, 12, 20, 5, 13, 21* и третья — паз *6*. Приняв паз *1* за начало отсчета, получим следующие углы между группами:

| | A | | | C | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 0° | 11,25° | 45° | 78,75° | 112,5° | |

Примем, что значение э. д. с. или н. с. одного паза равно 1; тогда значение тех же величин для 6 пазов, образующих большие группы фаз $A$ и $C$, будет равно $6 \times 0{,}981 = 5{,}886$. Таким образом, косинусные и синусные составляющие э. д. с. или н. с. (проекции э. д. с. или н. с. групп на линию, проходящую через паз *1*, и на линию, перпендикулярную к ней) для фазы $A$

$$5{,}886 \times \cos 11{,}25° = 5{,}771 \qquad 5{,}886 \times \sin 11{,}25° = 1{,}148$$

$$2{,}0 \times \cos 45° = 1{,}414 \qquad 2{,}0 \times \sin 45° = 1{,}414$$

$$\underline{\phantom{0}}\;7{,}185 \qquad\qquad \underline{\phantom{0}}\;2{,}562$$

и для фазы $C$

$$1{,}0 \times \cos 45° = 0{,}707 \qquad 1{,}0 \times \sin 45° = 0{,}707$$

$$5{,}886 \times \cos 78{,}75° = 1{,}148 \qquad 5{,}886 \times \sin 78{,}75° = 5{,}771$$

$$1{,}0 \times \cos 112{,}5° = -0{,}383 \qquad 1{,}0 \times \sin 112{,}5° = 0{,}924$$

$$\underline{\phantom{0}}\;1{,}472 \qquad\qquad \underline{\phantom{0}}\;7{,}402$$



Значения э. д. с. фаз $A$ и $B$

$$E_A = E_B = \sqrt{(7{,}185)^2 + (2{,}562)^2} = 7{,}628$$

и значение э. д. с фазы $C$

$$E_C = \sqrt{(1{,}472)^2 + (7{,}402)^2} = 7{,}547.$$

Среднее значение э. д. с.

$$E_{ср} = \frac{2 \times 7{,}628 + 7{,}547}{3} = 7{,}601$$

и коэффициент распределения обмотки для основной гармоники

$$k_p = \frac{7{,}601}{8} = 0{,}950.$$

Для фаз $A$ и $C$

$$\operatorname{tg} \varphi_A = \frac{2{,}562}{7{,}185} = 0{,}356; \quad \varphi_A = 19°37';$$

$$\operatorname{tg} \varphi_C = \frac{7{,}402}{1{,}472} = 5{,}027; \quad \varphi_C = 78°45'.$$

Угол между фазой $A$ и фазой $C$

$$\varphi_C - \varphi_A + 180 = 78°45' - 19°37' + 180° = 239°8' \text{ (отклонение } 52')$$

и угол между фазой $B$ и $A$

$$\varphi_B - \varphi_A = 2\,(78°45' - 19°37') = 118°16' \text{ (отклонение } 1°44').$$

Так как $\alpha_m = \frac{180°}{N}$, то несимметрия обмоток с $Z/m$, равным целому числу, выполненных для максимального коэффициента распределения основной гармоники, зависит от величины $N$. Величина несимметрии будет одной и той же для различных значений $q$ с одним и тем же значением $N$. Таким образом, она одинакова для $q = 1\frac{4}{9}$ и для $q = 4\frac{1}{3}$.

Трехфазную 6-полюсную петлевую обмотку с $q = 2\frac{2}{3}$ приведенного выше примера рассмотрим теперь при выполнении ее в качестве волновой обмотки и определим ее несимметрию. При этом надо рас-

смотреть все $\left(\frac{2p}{d}\right)\times m=\left(\frac{6}{3}\right)\times 3=6$ $D$-рядов для волновой обмотки. Эти ряды следующие:

| A | | | C | | | B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 |

$D$-ряды всех 6 полюсов.

Распределение пазов между 3 фазами показано ломаными линиями. Сравнивая это распределение пазов с тем, которое было дано ранее для петлевой обмотки, можно видеть, что положение центральной линии фазы $C$ и положения фаз $A$ и $B$ относительно этой центральной линии будут теми же самыми, что и для петлевой обмотки. Следовательно, и несимметрия будет той же самой.

**б) $Z/m$ не равно целому числу.** Обратимся к трехфазной 8-полюсной обмотке с 52 пазами, рассмотренной в § П4-5 как волновая обмотка. Для этой обмотки $q=2\frac{1}{6}$, $N=13$, $d=6$ и $D=7\cdot\frac{Z}{N}=$ $=4$ $D$-ряда следующие:

| A | | | | C | | | | B | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8 | 2 | 9 | 3 | 10 | 4 | 11 | 5 | 12 | 6 | 13 | 7 |
| 14 | 21 | 15 | 22 | 16 | 23 | 17 | 24 | 18 | 25 | 19 | 26 | 20 |
| 27 | 34 | 28 | 35 | 29 | 36 | 30 | 37 | 31 | 38 | 32 | 39 | 33 |
| 40 | 47 | 41 | 48 | 42 | 49 | 43 | 50 | 44 | 51 | 45 | (52) | 46 |

Разделяющие линии — те же, что были выбраны для составления схемы волновой обмотки. Для составления схемы петлевой обмотки может быть использовано то же самое распределение пазов.

Когда $Z/m$ не равно целому числу, то не будет симметрии фаз $A$ и $B$ относительно фазы $C$, поэтому надо рассчитать отклонения, по величине и углу для всех 3 фаз.

Принимая за начало отсчета вертикальную строку с пазом $1$, можем приведенные выше $D$-ряды переписать следующим образом

| A | | | | | C | | | | B | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 1 | 8 | 2 | 9 | 3 | 10 | 4 | 11 | 5 | 12 | 6 | 13 |
| 20 | 14 | 21 | 15 | 22 | 16 | 23 | 17 | 24 | 18 | 25 | 19 | 26 |
| 33 | 27 | 34 | 28 | 35 | 29 | 36 | 30 | 37 | 31 | 38 | 32 | 39 |
| 46 | 40 | 47 | 41 | 48 | 42 | 49 | 43 | 50 | 44 | 51 | 45 | (52) |

$0^\circ\rightarrow$

$6\frac{12^\circ}{13}\rightarrow$ $41\frac{7^\circ}{13}\rightarrow$ $69\frac{3^\circ}{13}\rightarrow$ $96\frac{12^\circ}{13}\rightarrow$ $124\frac{8^\circ}{13}\rightarrow$ $152\frac{4^\circ}{13}\rightarrow$



Угол $\alpha_m$ для этой обмотки

$$\alpha_m=\frac{180}{13}=13\,\frac{11^\circ}{13}.$$

4 единичных паза фазы $A$ (*7, 20, 33, 46*), (*1, 14, 27, 40*), (*8, 21, 34, 47*) и (*2, 15, 28, 41*) могут рассматриваться как группа. 3 единичных паза фазы $C$ (*3, 16, 29, 42*), (*10, 23, 36, 49*) и (*4, 17, 30, 43*) также можно использовать как группу; то же относится и к 3 единичным пазам фазы $B$ (*5, 18, 31, 44*), (*12, 25, 38, 51*) и (*6, 19, 32, 45*). При $N'=4$ коэффициент распределения группы [ур. (П4-11)]

$$k_p=\frac{\sin 4\left(13\frac{11}{13}/2\right)}{4\sin\left(13\frac{11}{13}/2\right)}=0{,}964.$$

При $N'=3$ коэффициент распределения группы

$$k_p=\frac{\sin 3\left(13\frac{11}{13}/2\right)}{3\sin\left(13\frac{11}{13}/2\right)}=0{,}981.$$

Предполагая, что значение э. д. с или н. с. одного паза равно 1, получим значение той же величины для рассмотренной группы фазы $A$, равным $16\times k_p=16\times 0{,}964=15{,}424$. Подобным образом получаем значение э. д. с. или н. с. рассмотренных групп фаз $C$ и $B$: $12\times\times 0{,}981=11{,}772$. Фаза $A$ состоит из 2 частей, фаза $C$ и фаза $B$ — каждая из 3 частей. Значения э. д. с. или н. с. этих частей и соответственных углов по отношению к пазу $1$:

$A$: 15,424 | 1 — $6\frac{12^\circ}{13}\rightarrow$ | $41\frac{7^\circ}{13}\rightarrow$

$C$: 3 | 11,772 | 2 — $41\frac{7^\circ}{13}\rightarrow$ | $69\frac{3^\circ}{13}\rightarrow$ | $96\frac{12^\circ}{13}\rightarrow$

$B$: 2 | 11,772 | 3 — $96\frac{12^\circ}{13}\rightarrow$ | $124\frac{8^\circ}{13}\rightarrow$ | $152\frac{4^\circ}{13}\rightarrow$

Косинусные и синусные составляющие 3 фаз будут:

для фазы $A$

$$15{,}424\times\cos 6\frac{12^\circ}{13}=15{,}311 \qquad 15{,}424\times\sin 6\frac{12^\circ}{13}=1{,}859$$

$$1\times\cos 41\frac{7^\circ}{13}=0{,}748 \qquad 1\times\sin 41\frac{7^\circ}{13}=0{,}663$$

$$16{,}059 \qquad 2{,}522$$

для фазы $C$

$$3 \times \cos 41\frac{7^\circ}{13} = 2{,}246 \qquad 3 \times \sin 41\frac{7^\circ}{13} = 1{,}989$$

$$11{,}772 \times \cos 69\frac{3^\circ}{13} = 4{,}174 \qquad 11{,}772 \times \sin 69\frac{3^\circ}{13} = 11{,}005$$

$$2 \times \cos 96\frac{12^\circ}{13} = -0{,}241 \qquad 2 \times \sin 96\frac{12^\circ}{13} = 1{,}985$$

$$\overline{6{,}179} \qquad \overline{14{,}979}$$

для фазы $B$

$$2 \times \cos 96\frac{12^\circ}{13} = -0{,}241 \qquad 2 \times \sin 96\frac{12^\circ}{13} = 1{,}985$$

$$11{,}772 \times \cos 124\frac{8^\circ}{13} = -6{,}686 \qquad 11{,}772 \times \sin 124\frac{8^\circ}{13} = 9{,}686$$

$$3 \times \cos 152\frac{4^\circ}{13} = -2{,}656 \qquad 3 \times \sin 152\frac{4^\circ}{13} = 1{,}394$$

$$\overline{-9{,}583} \qquad \overline{13{,}065}$$

Значения э. д. с. и углы 3 фаз равны:

$$E_A = \sqrt{(16{,}059)^2 + (2{,}522)^2} = 16{,}25; \quad \operatorname{tg}\varphi_A = \frac{2{,}522}{16{,}059} = 0{,}157; \quad \varphi_A = 8^\circ 56';$$

$$E_C = \sqrt{(6{,}179)^2 + (14{,}979)^2} = 16{,}20; \quad \operatorname{tg}\varphi_C = \frac{14{,}979}{6{,}179} = 2{,}424; \quad \varphi_C = 67^\circ 35';$$

$$E_B = \sqrt{(9{,}583)^2 + (13{,}065)^2} = 16{,}20; \quad \operatorname{tg}\varphi_B = -\frac{13{,}065}{9{,}583} = -1{,}363; \quad \varphi_B = 126^\circ 15'.$$

Средняя э. д. с.

$$E_{cp} = \frac{16{,}25 + 16{,}20 + 16{,}20}{3} = 16{,}22$$

и коэффициент распределения обмотки для основной гармоники

$$k_p = \frac{16{,}22}{17} = 0{,}954.$$

Угол между фазой $C$ и фазой $A$

$$\varphi_C - \varphi_A + 180 = 67^\circ 35' - 8^\circ 55' + 180^\circ = 238^\circ 40' \text{ (отклонение } 1^\circ 20')$$

и угол между фазой $B$ и фазой $A$

$$\varphi_B - \varphi_A = 126^\circ 15' - 8^\circ 55' = 117^\circ 20' \text{ (отклонение } 2^\circ 40').$$



**в) Упрощенный метод определения отклонений по углу.** Отклонение по величине в обмотках с $N/m$, равным целому числу, мало при $N > 8$ (см. табл. 5-7). То же самое имеем для обмоток с $N/m$, не равным целому числу, если $t = 2$ и $N = 11$ (см. табл. 5-5 и 5-6). В этих случаях достаточно определить отклонение только по углу. Отклонение по углу можно определить приближенно путем „взвешивания" равнофазных групп (столбцов) катушек. Метод поясним на 2 примерах, рассмотренных ранее в данном параграфе.

$\frac{Z}{m}$ **равно целому числу.** 3 фазы, 6 полюсов, $q = 2^2/_3$. $m = 3$

$D$-ряда на $d = 3$ полюса — следующие:

| | A | | | C | | | B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| → $x$ ← | | | | | | → $x$ ← | |

Фаза $A$ состоит из равнофазных групп (*1, 9, 17*), (*2, 10, 18*) и (*3, 19*). Центр тяжести этой фазы будет лежать между первым и вторым столбцами, ближе ко второму столбцу. Если угол между первым столбцом, принятым за начало отсчета, и линией, проходящей через центр тяжести, обозначить через $x$, то получим:

$$3x = 3(\alpha_m - x) + 2(\alpha_m + \alpha_m - x),$$

или $x = \frac{7}{8}\alpha_m$. Так как $\alpha_m = \frac{180^\circ}{N} = \frac{180^\circ}{8} = 22{,}5^\circ$, то $x = 19{,}69^\circ = \varphi_A$*.

Центр тяжести фазы $C$ лежит посредине между равнофазными группами (*4, 12, 20*) и (*5, 13, 21*). Фаза $B$ состоит из групп, которые имеют такой же „вес", как группы фазы $A$, а следовательно, ее центр тяжести смещен на $x$ градусов относительно последнего столбца.

Угол между центром тяжести фазы $C$ и столбцом, принятым за начало отчета,

$$\varphi_C = 3{,}5 \times \alpha_m + 180 = 258{,}75^\circ$$

и угол между центром тяжести фазы $B$ и столбцом, принятым за начало отчета,

$$\varphi_B = 7 \times \alpha_m - x = 157{,}5^\circ - 19{,}69^\circ = 137{,}81^\circ.$$

Таким образом, угол между фазой $A$ и фазой $C$

$$\varphi_C - \varphi_A = 258{,}75^\circ - 19{,}69^\circ = 239{,}06^\circ = 239^\circ 3{,}6' \text{ (отклонение } 56')$$

и угол между фазой $B$ и фазой $A$

$$\varphi_B - \varphi_A = 137{,}81^\circ - 19{,}69^\circ = 118{,}12^\circ = 118^\circ 8' \text{ (отклонение } 1^\circ 52')$$

---

* Этот результат несколько отличается от того, что было получено при использовании косинусных и синусных составляющих, но различие лежит в пределах точности счетной линейки.

$\frac{Z}{m}$ **не равно целому числу.** 3 фазы, 8 полюсов, $q = 2\frac{1}{6}$. $t = 4$ $D$-ряда, представляющие полную обмотку, следующие:

| | | A | | | | C | | | | B | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 1 | 8 | 2 | 9 | 3 | 10 | 4 | 11 | 5 | 12 | 6 | 13 |
| 20 | 14 | 21 | 15 | 22 | 16 | 23 | 17 | 24 | 18 | 25 | 19 | 26 |
| 33 | 27 | 34 | 28 | 35 | 29 | 36 | 30 | 37 | 31 | 38 | 32 | 39 |
| 46 | 40 | 47 | 41 | 48 | 42 | 49 | 43 | 50 | 44 | 51 | 45 | (52) |
| | →x← | | | | →x← | | | | | →x← | | |

Используя второй столбец фазы $A$ как начало отсчета для этой фазы, получим:

$$4\ (\alpha_m + x) + 4x = 4\ (\alpha_m - x) + 4\ (2\alpha_m - x) + (3\alpha_m - x);$$

$$\alpha_m = 13\frac{11^\circ}{13};\ x = \frac{11}{17}\alpha_m = 8^\circ 57{,}6'.$$

Используя для фазы $C$ второй столбец этой фазы как начало отсчета, получим:

$$3\ (\alpha_m + x_1) + 4x_1 = 4\ (\alpha_m - x_1) + 4\ (2\alpha_m - x_1) + 2\ (3\alpha_m - x_1);$$

$$x_1 = \frac{15}{17}\alpha_m = 12^\circ 13'.$$

Используя для фазы $B$ столбец (*6, 19, 32, 45*) как начало отсчета, получим:

$$x_2 = x_1 = 12^\circ 13'.$$

Относя все 3 фазы к первому столбцу фазы $A$ (*7, 20, 33, 46*) как началу отсчета, будем иметь:

$$\varphi_A = \alpha_m + x = 13^\circ 50{,}7' + 8^\circ 57{,}6' = 22^\circ 48{,}3';$$

$$\varphi_C = 5 \times 13^\circ 50{,}7' + 12^\circ 13' + 180^\circ = 261^\circ 25';$$

$$\varphi_B = 11 \times 13^\circ 50{,}7' - 12^\circ 13' = 140^\circ 5{,}3';$$

$\varphi_C - \varphi_A = 261^\circ 25' - 22^\circ 48' = 238^\circ 37'$ (отклонение $1^\circ 23'$);

$\varphi_B - \varphi_A = 140^\circ 5' - 22^\circ 48' = 117^\circ 17'$ (отклонение $2^\circ 43'$).

Получены те же самые значения, что и при использовании косинусных и синусных составляющих.





# КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УКОРОЧЕНИЯ ОБМОТОК С ЦЕЛЫМ ЧИСЛОМ И ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

**П5-1. Обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу.** Синхронная (основная) волна, длина которой равна $2\tau$ (удвоенному полюсному делению), используется как основная гармоника для обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу. Порядок гармоник обозначается через $\nu$. $\nu = 1$ относится к синхронной (основной) волне.

В двухфазных обмотках пазы, лежащие под одним полюсным делением (180 электрических градусов), разделяются на 2 части, по 1 для каждой фазы. Двухфазные обмотки, следовательно, являются 2-зонными (с шириной фазной зоны 90°) обмотками. Трехфазные обмотки могут быть выполнены 6-зонными или 3-зонными. В 6-зонных обмотках пазы, лежащие под одним полюсным делением (180 электрических градусов), разделяются на 3 части, по 1 на каждую фазу, что дает 6 зон на 2 полюса. В 3-зонных обмотках пазы, лежащие под 2 полюсами, разделяются на 3 части, что дает 3-зонную обмотку. При целом числе пазов на полюс и фазу каждая зона 6-зонной обмотки имеет 60 электрических градусов. Нормально используется 6-зонная обмотка. 3-зонная обмотка используется в специальных случаях, например для 2-скоростных двигателей (см. § 9-1).

**а) Трехфазные статорные обмотки с шириной фазной зоны 60° (6-зонные). Коэффициенты распределения.** Гармоники, созданные статорной обмоткой

$$\nu = 1,\ 5,\ 7,\ 11,\ 13,\ 17,\ \ldots$$

Гармоники, кратные *3*, не возникают, если по обмотке не протекают токи нулевой последовательности. Можно считать, что в асинхронных двигателях они отсутствуют.

Для синхронной волны (основной гармоники)

$$k_{p\,(\nu=1)} = \frac{0{,}5}{q \sin \frac{30^\circ}{q}}, \qquad (\text{П5-1})$$

где $q = \frac{Z}{2mp}$ — число пазов на полюс и фазу. Значения $k_{p\,(\nu=1)}$ приведены на рис. П5-1.

Для ν-й гармоники

$$k_{p\nu} = \frac{\sin \nu \times 30^\circ}{q \sin \nu \frac{30^\circ}{q}}. \tag{П5-2}$$

Значения $k_{p\nu}$, соответствующие уравнению (П5-2), для основной и высших гармоник приведены в табл. П5-1. Уравнение (П5-2) дает правильные знаки для высших гармоник. Если требуется определить

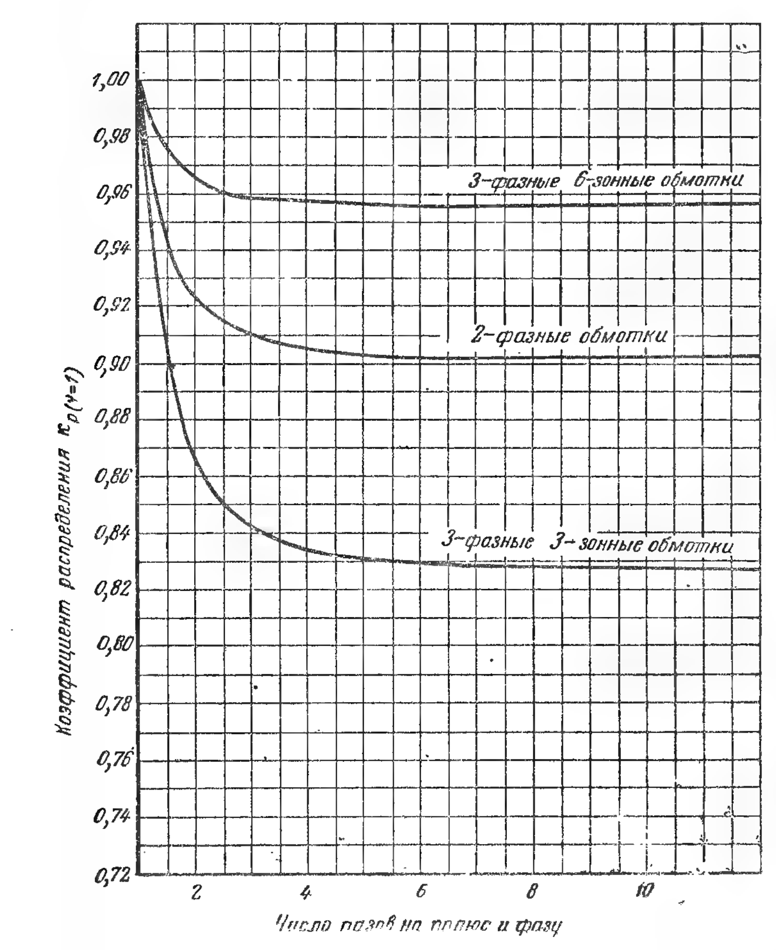



Рис. П5-1. Коэффициенты распределения для основной гармоники двухфазных и трехфазных обмоток.



только абсолютное значение, то можно воспользоваться следующим выражением:

$$k_{p\nu} = \frac{0,5}{q \sin \nu \frac{30^\circ}{q}}. \tag{П5-2а}$$

**Коэффициенты укорочения.** Для синхронной волны (основной гармоники)

$$k_{y\,(\nu=1)} = \sin \frac{y_з}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2}, \tag{П5-3}$$

где $\tau$ — полюсное деление и $y_з$ — ширина катушки (задний шаг обмотки). Значения $k_{y\,(\nu=1)}$ приведены на рис. П5-2.

Для ν-й гармоники

$$k_{y\nu} = \sin \nu \frac{y_з}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2}. \tag{П5-3а}$$

Значения $k_{y\nu}$, соответствующие этому уравнению, для основной и высших гармоник приведены в табл. П5-2.

**б) Трехфазные роторные обмотки с шириной фазной зоны 60° (6-зонные).** Гармоники, созданные роторной обмоткой,

$$\mu = 3k_2 + \nu, \tag{П5-4}$$

где $k_2$ — какое-либо положительное или отрицательное четное целое число, включая 0. ν должно быть подставлено с правильным знаком (знаки статорных гармоник ν чередуются; знак плюс нормально относится к основной гармонике, так что $\nu = +1, -5, +7, -11, \ldots$). В асинхронном двигателе уравнение (П5-4) дает для $\nu = 1$ роторные гармоники, созданные токами, имеющими частоту скольжения.

Коэффициенты распределения и укорочения определяются по уравнениям (П5-1)—(П5-3а) и рис. П5-1 и П5-2. Во все уравнения должно быть подставлено μ вместо ν.

**в) Трехфазные статорные обмотки с шириной фазной зоны 120° (3-зонные). Коэффициенты распределения.** Гармоники, созданные статорной обмоткой,

$$\nu = 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, \ldots$$

$\nu = 1$ соответствует синхронной (основной) волне. Четные гармоники возникают только при хордовых (с укороченным шагом) обмотках.

Для синхронной волны (основной гармоники)

$$k_{p\,(\nu=1)} = \frac{0,866}{2q \sin \frac{30^\circ}{q}}, \tag{П5-5}$$

где $q$ — снова число пазов на полюс и фазу, т. е. $q = \frac{Z}{2mp}$. Значения $k_{p\,(\nu=1)}$ приведены на рис. П5-1.

Для ν-й гармоники

$$k_{p\nu} = \frac{\sin \nu \times 60^\circ}{2q \sin \nu \frac{30^\circ}{q}}. \tag{П5-6}$$

Уравнение (П5-6) дает правильные знаки. Если требуется определить только абсолютное значение, то можно воспользоваться следующим выражением:

$$k_{p\nu} = \frac{0,866}{2q \sin \nu \frac{30^\circ}{q}}. \qquad (П5\text{-}6а)$$

**Коэффициенты укорочения.** Те же самые формулы и рис. П5-2, которые применяются для трехфазных обмоток с шириной фазной зоны 60°, могут быть применены и в данном случае.

**г) Двухфазные статорные обмотки. Коэффициенты распределения.** Гармоники, созданные статорной обмоткой,

$$\nu = 1,\ 3,\ 5,\ 7,\ 9,\ 11,\ 13,\ \ldots$$

$\nu = 1$ соответствует синхронной (основной) волне. Для этой волны

$$k_{p(\nu=1)} = \frac{0,707}{q \sin \frac{45^\circ}{q}}. \qquad (П5\text{-}7)$$

Значения $k_{p(\nu=1)}$ приведены на рис. П5-1.

Для $\nu$-й гармоники

$$k_{p\nu} = \frac{\sin \nu \times 45^\circ}{q \sin \nu \frac{45^\circ}{q}}. \qquad (П5\text{-}8)$$

**Коэффициенты укорочения.** Те же самые формулы и рис. П5-2, которые применяются для трехфазных обмоток с шириной фазной зоны 60°, применимы и в данном случае.

**д) Однофазные обмотки.** Обратимся к рис. П5-3, на котором показана концентрическая обмотка с различными числами витков в катушках. Для этой обмотки произведение коэффициента распределения и коэффициента укорочения основной гармоники равно:

$$k_p \times k_y = \frac{w_{c1} \sin \alpha_1 + w_{c2} \sin \alpha_2 + w_{c3} \sin \alpha_3 + \ldots}{w_{c1} + w_{c2} + w_{c3} + \ldots}. \qquad (П5\text{-}9)$$

Если однофазная обмотка не является концентрической, а выполнена в виде 2-слойной обмотки, так же как трехфазные и двухфазные обмотки, рассмотренные в пп. „а“ — „в“, то коэффициент распределения будет:

$$k_p = \frac{\sin \frac{q}{Z_p} 90^\circ}{q \sin \frac{90^\circ}{Z_p}}, \qquad (П5\text{-}10)$$

где $Z_p$ — число пазов на полюс и $q$ — число пазов на полюс, имеющих проводники. Коэффициент укорочения — такой же, как для трехфазных и двухфазных обмоток, и для его определения может быть использован рис. П5-2.



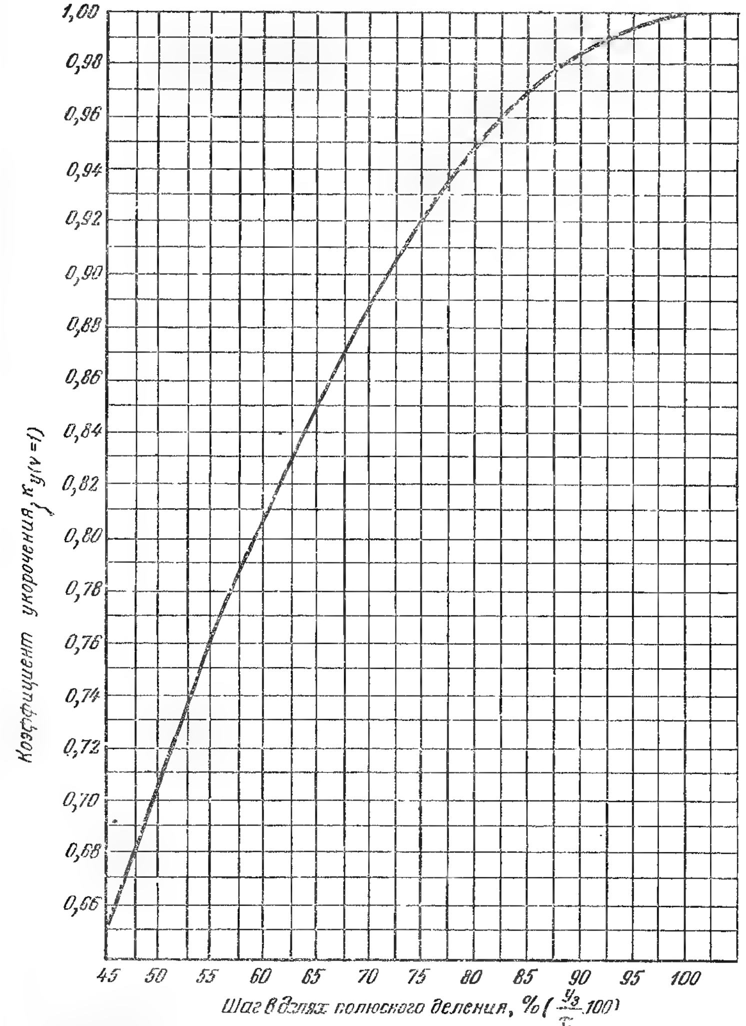



Рис. П5-2. Коэффициенты укорочения для основной гармоники.

**П5-2. Симметричные обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, выполненные для максимального коэффициента распределения синхронной (основной) волны.** Двухполюсная волна, длина которой равна $2p\tau$ (длине окружности якоря), используется как основная волна для обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу. Порядок гармоник будем обозначать через $\nu'$. $\nu' = p$ соответствует синхронной (основной) волне.

Трехфазные обмотки могут быть 6-зонными (с шириной фазной зоны 60°) и 3-зонными (с шириной фазной зоны 120°).

**а) Трехфазные 6-зонные статорные обмотки. Коэффициенты распределения.** Число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{N}{d}, \tag{П5-11}$$

где $N$ и $d$ не имеют общего делителя.

Статорной обмоткой создаются следующие гармоники:

при $d$, равном четному числу,

$$\nu' = \frac{2p}{d}\nu, \text{ где } \nu = 1, 2, 4, 5, 7, 8, \ldots \tag{П5-12а}$$

[для синхронной волны (основной гармоники) $\nu' = p$ и $\nu_c = \frac{d}{2}$];

при $d$, равном нечетному числу,

$$\nu' = \frac{p}{d}\nu, \text{ где } \nu = 1, 5, 7, 11, 13, \ldots \tag{П5-12б}$$

[для синхронной волны (основной гармоники) $\nu' = p$ и $\nu_c = d$].

(См. указание в п. „а" П5-1 относительно гармоник, кратных 3).

Для синхронной волны (основной гармоники)

$$k_{p\,(\nu' = p)} = \frac{0,5}{N \sin \frac{30°}{N}}. \tag{П5-13}$$

Сравнение уравнения (П5-13) с уравнением (П5-1) показывает, что коэффициент распределения основной гармоники для обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу равен такому же коэффициенту для обмотки, имеющей целое число $N$ пазов на полюс и фазу. Следовательно, рис. П5-1 может быть использован и в данном случае, но для $q = N$.

Коэффициент распределения $\nu'$-й гармоники

$$k_{p\nu'} = \frac{\sin N(\alpha_{\nu'}/2)}{N \sin(\alpha_{\nu'}/2)}. \tag{П5-14}$$

Для определения $\alpha_{\nu'}$ надо найти

$$D = \frac{3NP + 1}{d}, \tag{П5-15}$$



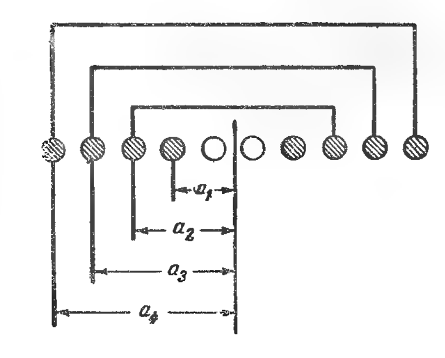



Рис. П5-3. К определению обмоточного коэффициента концентрической однофазной обмотки.

где $P$ — наименьшее целое число, при котором $D$ будет целым числом. Тогда получим:

$$\left.\begin{aligned}
&\alpha_{\nu'} = \nu' D\alpha_m \frac{d}{p}, \text{ если } P \text{ — четное число;}\\
&\alpha_{\nu'} = \nu' D\alpha_m \frac{d}{p} + 180°, \text{ если } P \text{ — нечетное число и } d \text{ — четное число}\\
&\alpha_{\nu'} = \nu' (D\alpha_m + 180°)\frac{d}{p}, \text{ если } P \text{ — нечетное число и } d \text{ — нечетное число,}
\end{aligned}\right\} \tag{П5-16}$$

где

$$\alpha_m = \frac{180°}{3N}. \tag{П5-17}$$

Уравнение (П5-14) вместе с уравнением (П5-16) дают правильный знак для гармоник. Если требуется определить только абсолютное значение, то можно воспользоваться следующими выражениями:

$$\left.\begin{aligned}
&k_{p\nu'} = \frac{0,5}{N\cos\left(\frac{D}{N}60° \times \nu\right)}, \text{ если } d \text{ — четное число;}\\
&k_{p\nu'} = \frac{0,5}{N\sin\left(\frac{D}{N}30° \times \nu\right)}, \text{ если } d \text{ — нечетное число и } P \text{ — четное число;}\\
&k_{p\nu'} = \frac{0,5}{N\cos\left(\frac{D}{N}30° \times \nu\right)}, \text{ если } d \text{ — нечетное число и } P \text{ — нечетное число.}
\end{aligned}\right\} \tag{П5-18}$$

**Коэффициенты укорочения.** Для синхронной волны

$$k_{y\,(\nu' = p)} = \sin\frac{y_з}{\tau}\cdot\frac{\pi}{2}. \tag{П5-19}$$

Приведенное выражение — такое же, как и для обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу, поэтому в данном случае можно пользоваться рис. П5-2.

Для $\nu'$-й гармоники

$$\left.\begin{aligned} k_{y\nu'} &= \sin \frac{y_з}{\tau}\cdot\frac{180^\circ}{d}\,\nu, \text{ если } d \text{ — четное число;} \\ k_{y\nu'} &= \sin \frac{y_з}{\tau}\cdot\frac{180^\circ}{2d}\,\nu, \text{ если } d \text{ — нечетное число.} \end{aligned}\right\} \quad (П5\text{-}20)$$

**б) Трехфазные 6-зонные роторные обмотки.** Гармоники, созданные роторной обмоткой

$$\mu' = 3\frac{2p}{d}k_2 + \nu', \quad (П5\text{-}21)$$

где $k_2$ — любое положительное или отрицательное целое число, включая 0. $\nu'$ должно быть подставлено с правильным знаком. В асинхронном двигателе при $\nu' = p$ получаем роторные гармоники, созданные токами частоты скольжения.

Коэффициенты распределения определяются по уравнениям (П5-13) — (П5-18) и рис. П5-1. Во все уравнения должно быть подставлено $\mu'$ вместо $\nu'$.

Коэффициент укорочения основной гармоники ($\mu' = p$) определяется по уравнению (П5-19) и рис. П5-2. Коэффициент укорочения $\mu'$-й гармоники

$$k_{y\mu'} = \sin y_з d\,(\alpha_{\mu'}/2), \quad (П5\text{-}21а)$$

где $y_з$ — задний шаг (ширина катушки) в пазовых делениях, а $\alpha_{\mu'}$ определяется по уравнению (П5-16).

**в) Двухфазные статорные обмотки. Коэффициенты распределения.** Число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{N}{d},$$

где $N$ и $d$ не имеют общего делителя. Здесь возможны только нечетные значения $d$. При четных значениях $d$ получаются несимметричные обмотки.

Статорной обмоткой создаются следующие гармоники:

$$\nu' = \frac{p}{d}\,\nu, \text{ где } \nu = 1, 3, 5, 7, 9, \ldots$$

Для синхронной волны $\nu' = p$ и $\nu_c = d$.

Для синхронной волны (основной гармоники)

$$k_{p\,(\nu' = p)} = \frac{0{,}707}{N \sin \frac{45^\circ}{N}} \quad (П5\text{-}22)$$



и для $\nu'$-й гармоники

$$k_{p\nu'} = \frac{\sin N\,(\alpha_{\nu'}/2)}{N \sin (\alpha_{\nu'}/2)}. \quad (П5\text{-}23)$$

$\alpha_{\nu'}$ определяется по уравнениям (П5-16) и (П5-17). В уравнения (П5-15) и (П5-17) надо подставить 2 вместо 3.

**Коэффициенты укорочения.** Для синхронной волны (основной гармоники)

$$k_{y\,(\nu' = p)} = \sin \frac{y_з}{\tau}\cdot\frac{\pi}{2}. \quad (П5\text{-}24)$$

Приведенное выражение — такое же, как и для обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу, поэтому можно использовать рис. П5-2.

Для $\nu'$-й гармоники

$$k_{y\nu'} = \sin \frac{y_з}{\tau}\cdot\frac{180^\circ}{2d}\,\nu. \quad (П5\text{-}25)$$

Таблица П5-1

**Значения $k_{p\nu}$ для трехфазных обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу**

| ν | $k_{p\nu}$ — коэффициенты распределения для гармоник | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| q = | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | ∞ |
| 1 | 0,966 | 0,960 | 0,958 | 0,957 | 0,957 | 0,957 | 0,956 | 0,955 | 0,955 | 0,955 |
| 3 | 0,707 | 0,667 | 0,654 | 0,646 | 0,644 | 0,642 | 0,641 | 0,640 | 0,639 | 0,636 |
| 5 | 0,259 | 0,217 | 0,205 | 0,200 | 0,197 | 0,195 | 0,194 | 0,194 | 0,193 | 0,191 |
| 7 | −0,259 | −0,177 | −0,158 | −0,149 | −0,145 | −0,143 | −0,141 | −0,140 | −0,140 | −0,136 |
| 9 | −0,707 | −0,333 | −0,270 | −0,247 | −0,236 | −0,229 | −0,225 | −0,222 | −0,220 | −0,212 |
| 11 | −0,966 | −0,177 | −0,126 | −0,110 | −0,102 | −0,097 | −0,095 | −0,093 | −0,092 | −0,087 |
| 13 | −0,966 | 0,217 | 0,126 | 0,102 | 0,092 | 0,086 | 0,083 | 0,081 | 0,079 | 0,073 |
| 15 | −0,707 | 0,667 | 0,270 | 0,200 | 0,172 | 0,158 | 0,150 | 0,145 | 0,141 | 0,127 |
| 17 | −0,259 | 0,960 | 0,158 | 0,102 | 0,084 | 0,075 | 0,070 | 0,066 | 0,064 | 0,056 |
| 19 | 0,259 | 0,960 | −0,205 | −0,110 | −0,084 | −0,072 | −0,066 | −0,062 | −0,060 | −0,059 |
| 21 | 0,707 | 0,667 | −0,654 | −0,247 | −0,172 | −0,143 | −0,127 | −0,118 | −0,112 | −0,091 |
| 23 | 0,966 | 0,217 | −0,958 | −0,149 | −0,092 | −0,072 | −0,063 | −0,057 | −0,054 | −0,041 |
| 25 | 0,966 | −0,177 | −0,958 | 0,200 | 0,102 | 0,075 | 0,063 | 0,056 | 0,052 | 0,038 |
| 27 | 0,707 | −0,333 | −0,654 | 0,646 | 0,236 | 0,158 | 0,127 | 0,111 | 0,101 | 0,071 |
| 29 | 0,259 | −0,177 | −0,205 | 0,957 | 0,145 | 0,086 | 0,066 | 0,056 | 0,050 | 0,033 |
| 31 | −0,259 | 0,217 | 0,158 | 0,957 | −0,197 | −0,097 | −0,070 | −0,057 | −0,050 | −0,031 |



Продолжение таблицы П5-1

| ν | $k_{p\nu}$ — коэффициенты распределения для гармоник | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| q = | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | ∞ |
| 33 | −0,709 | 0,667 | 0,270 | 0,646 | −0,644 | −0,229 | −0,150 | −0,118 | −0,101 | −0,058 |
| 35 | −0,966 | 0,960 | 0,126 | 0,200 | −0,957 | −0,143 | −0,083 | −0,062 | −0,052 | −0,027 |
| 37 | −0,966 | 0,960 | −0,126 | −0,149 | −0,957 | 0,195 | 0,095 | 0,066 | 0,054 | 0,026 |
| 39 | −0,707 | 0,667 | −0,270 | −0,247 | −0,644 | 0,642 | 0,225 | 0,145 | 0,112 | 0,049 |
| 41 | −0,259 | 0,217 | −0,158 | −0,110 | −0,197 | 0,957 | 0,141 | 0,081 | −0,060 | 0,023 |
| 43 | 0,259 | −0,177 | 0,205 | 0,102 | 0,145 | 0,957 | −0,194 | −0,093 | −0,064 | −0,022 |
| 45 | 0,707 | −0,333 | 0,654 | 0,200 | 0,236 | 0,642 | −0,641 | −0,222 | −0,141 | −0,042 |
| 47 | 0,966 | −0,177 | 0,958 | 0,102 | 0,102 | 0,195 | −0,956 | −0,140 | −0,079 | −0,020 |
| 49 | 0,966 | 0,217 | 0,958 | −0,110 | −0,092 | −0,143 | −0,956 | 0,194 | 0,092 | 0,019 |
| 51 | 0,707 | 0,667 | 0,654 | −0,247 | −0,172 | −0,229 | −0,641 | 0,640 | 0,220 | 0,038 |
| 53 | 0,259 | 0,960 | 0,205 | −0,149 | −0,084 | −0,097 | −0,194 | 0,955 | 0,140 | 0,018 |
| 55 | −0,259 | 0,960 | −0,158 | 0,200 | 0,084 | 0,036 | 0,141 | 0,955 | −0,193 | −0,017 |
| 57 | −0,707 | 0,667 | −0,270 | 0,646 | 0,172 | 0,158 | 0,225 | 0,640 | −0,639 | −0,033 |
| 59 | −0,966 | 0,217 | −0,126 | 0,957 | 0,092 | 0,075 | 0,095 | 0,194 | −0,955 | −0,016 |
| 61 | −0,966 | −0,177 | 0,126 | 0,957 | −0,102 | −0,072 | −0,083 | −0,140 | −0,955 | 0,016 |
| 63 | −0,707 | −0,333 | 0,270 | 0,646 | −0,236 | −0,143 | −0,150 | −0,222 | −0,639 | 0,030 |
| 65 | −0,259 | −0,177 | 0,158 | 0,200 | −0,145 | −0,072 | −0,070 | −0,093 | −0,193 | 0,015 |

## Значения $k_{y\nu}$ для трехфазных обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу

$k_{y\nu}$ — коэффициенты укорочения для гармоник

| $q$ | $y_3/\tau$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3/3 | | | | | | | |
| 2 | 6/6 | | | | | | | |
| 3 | 9/9 | | | | | | | |
| 4 | 12/12 | | | | | | | |
| 5 | 15/15 | | | | | | 14/15 | |
| 6 | 18/18 | | | | | 17/18 | | |
| 7 | 21/21 | | | | 20/21 | | | |
| 8 | 24/24 | | | 23/24 | | | | |
| 9 | 27/27 | | 26/27 | | | | | 25/27 |
| 10 | 30/30 | 29/30 | | | | | 28/30 | |
| $y_3/\tau$ | 1,0 | 0,967 | 0,964 | 0,959 | 0,952 | 0,945 | 0,934 | 0,926 |
| Порядок гармоники | | | | | | | | |
| 1 | 1,0 | 0,999 | 0,998 | 0,998 | 0,997 | 0,996 | 0,995 | 0,993 |
| 3 | —1,0 | —0,988 | —0,985 | —0,981 | —0,975 | —0,966 | —0,951 | —0,940 |
| 5 | 1,0 | 0,966 | 0,958 | 0,947 | 0,931 | 0,906 | 0,866 | 0,835 |
| 7 | —1,0 | —0,943 | —0,918 | —0,897 | —0,866 | —0,819 | —0,743 | —0,686 |
| 9 | 1,0 | 0,897 | 0,866 | 0,831 | 0,782 | 0,707 | 0,588 | 0,500 |
| 11 | —1,0 | —0,834 | —0,802 | —0,750 | —0,680 | —0,574 | —0,407 | —0,287 |
| 13 | 1,0 | 0,777 | 0,727 | 0,659 | 0,563 | 0,423 | 0,208 | 0,058 |
| 15 | —1,0 | —0,707 | —0,643 | —0,556 | —0,434 | —0,259 | 0,0 | 0,174 |
| 17 | 1,0 | 0,629 | 0,550 | 0,442 | 0,295 | 0,087 | —0,208 | —0,396 |
| 19 | —1,0 | —0,545 | —0,449 | —0,321 | —0,149 | 0,0872 | 0,407 | 0,597 |
| 21 | 1,0 | 0,454 | 0,342 | 0,195 | 0,0 | —0,259 | —0,588 | —0,766 |
| 23 | —1,0 | —0,358 | —0,231 | —0,0644 | 0,149 | 0,423 | 0,743 | 0,894 |
| 25 | 1,0 | 0,259 | 0,116 | 0,0644 | —0,295 | —0,574 | —0,866 | —0,973 |
| 27 | —1,0 | —0,170 | 0,0 | 0,195 | 0,434 | 0,707 | 0,951 | 1,0 |
| 29 | 1,0 | 0,052 | —0,116 | —0,321 | —0,563 | —0,819 | —0,995 | —0,973 |
| 31 | —1,0 | 0,052 | 0,231 | 0,442 | 0,680 | 0,906 | 0,995 | 0,894 |
| 33 | 1,0 | 0,156 | —0,342 | —0,556 | —0,782 | —0,966 | —0,951 | —0,766 |
| 35 | —1,0 | 0,259 | 0,449 | 0,659 | 0,866 | 0,996 | 0,866 | 0,597 |
| 37 | 1,0 | —0,358 | —0,550 | —0,750 | —0,931 | —0,996 | —0,743 | —0,396 |
| 39 | —1,0 | 0,454 | 0,643 | 0,831 | 0,975 | 0,966 | 0,588 | 0,174 |
| 41 | 1,0 | —0,545 | —0,727 | —0,897 | —0,997 | —0,906 | —0,407 | 0,058 |
| 43 | —1,0 | 0,629 | 0,802 | 0,947 | 0,997 | 0,819 | 0,208 | —0,287 |
| 45 | 1,0 | —0,707 | —0,866 | —0,987 | —0,925 | —0,707 | 0,0 | 0,500 |
| 47 | —1,0 | 0,777 | 0,918 | 0,998 | 0,931 | 0,574 | —0,208 | —0,686 |
| 49 | 1,0 | —0,839 | —0,958 | —0,998 | —0,866 | —0,423 | 0,407 | 0,835 |
| 51 | —1,0 | 0,891 | 0,985 | 0,981 | 0,782 | 0,259 | —0,588 | —0,940 |
| 53 | 1,0 | —0,934 | —0,998 | —0,947 | —0,680 | —0,0872 | 0,743 | 0,993 |
| 55 | —1,0 | 0,966 | 0,998 | 0,897 | 0,563 | —0,0872 | —0,866 | —0,993 |
| 57 | 1,0 | —0,988 | —0,985 | —0,831 | —0,434 | 0,259 | 0,951 | 0,940 |
| 59 | —1,0 | 0,999 | 0,958 | 0,756 | 0,205 | —0,423 | —0,995 | —0,835 |
| 61 | 1,0 | —0,999 | —0,978 | —0,659 | —0,149 | 0,574 | 0,995 | 0,686 |
| 63 | —1,0 | 0,988 | 0,866 | 0,556 | 0,0 | —0,707 | —0,951 | —0,500 |
| 65 | 1,0 | —0,966 | —0,802 | —0,442 | 0,149 | 0,814 | 0,866 | 0,287 |



| $q$ | $y_3/\tau$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | 5/6 | |
| 3 | | | | 8/9 | | | | | | |
| 4 | 11/12 | | | | | | | | 10/12 | |
| 5 | | | | | | 13/15 | | | | |
| 6 | | | | 16/18 | | | | | 15/18 | |
| 7 | | 19/21 | | | | | 18/21 | | | |
| 8 | 22/24 | | | | 21/24 | | | | 20/24 | |
| 9 | | | | 24/27 | | | | 23/27 | | 22/27 |
| 10 | | | 27/30 | | | 26/30 | | | 25/30 | |
| $y_3/\tau$ | 0,917 | 0,905 | 0,900 | 0,889 | 0,875 | 0,867 | 0,857 | 0,852 | 0,833 | 0,815 |
| Порядок гармоники | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,991 | 0,989 | 0,988 | 0,985 | 0,981 | 0,978 | 0,975 | 0,973 | 0,966 | 0,958 |
| 3 | —0,924 | —0,901 | —0,891 | —0,866 | —0,831 | —0,809 | —0,782 | —0,766 | —0,707 | —0,643 |
| 5 | 0,793 | 0,733 | 0,707 | 0,643 | 0,556 | 0,500 | 0,434 | 0,396 | 0,259 | 0,116 |
| 7 | —0,609 | —0,500 | —0,454 | —0,342 | —0,177 | —0,105 | 0,0 | 0,058 | 0,259 | 0,499 |
| 9 | 0,383 | 0,223 | 0,156 | 0,00 | —0,191 | —0,304 | —0,434 | —0,500 | —0,707 | —0,866 |
| 11 | —0,131 | 0,075 | 0,156 | 0,342 | 0,556 | 0,660 | 0,782 | 0,795 | 0,966 | 0,998 |
| 13 | —0,131 | —0,365 | —0,454 | —0,643 | —0,831 | —0,914 | —0,975 | —0,993 | —0,966 | —0,802 |
| 15 | 0,383 | 0,624 | 0,707 | 0,866 | 0,981 | 1.0 | 0,975 | 0,940 | 0,707 | 0,342 |
| 17 | —0,609 | —0,826 | —0,891 | —0,985 | —0,981 | —0,914 | —0,782 | —0,686 | —0,259 | 0,231 |
| 19 | 0,793 | 0,956 | 0,988 | 0,985 | 0,831 | 0,669 | 0,434 | 0,287 | —0,259 | —0,727 |
| 21 | —0,924 | —1,0 | —0,988 | —0,866 | —0,556 | —0,309 | 0,0 | 0,174 | 0,707 | 0,985 |
| 23 | 0,991 | 0,956 | 0,891 | 0,643 | 0,195 | —0,105 | —0,434 | —0,597 | —0,966 | —0,918 |
| 25 | —0,991 | —0,826 | —0,707 | —0,342 | 0,195 | 0,500 | 0,782 | 0,894 | 0,966 | 0,550 |
| 27 | 0,924 | 0,624 | 0,454 | 0,0 | —0,556 | —0,809 | —0,975 | —1,0 | —0,707 | 0,0 |
| 29 | —0,793 | —0,365 | —0,156 | 0,342 | 0,831 | 0,978 | 0,975 | 0,894 | 0,259 | —0,550 |
| 31 | 0,109 | 0,0747 | —0,156 | —0,643 | —0,981 | —0,978 | —0,782 | —0,597 | 0,259 | 0,918 |
| 33 | —0,383 | 0,223 | 0,454 | 0,866 | 0,981 | 0,809 | 0,434 | 0,174 | —0,707 | —0,985 |
| 35 | 0,131 | —0,500 | —0,707 | —0,985 | —0,831 | —0,500 | 0,0 | 0,287 | 0,966 | 0,727 |
| 37 | 0,131 | 0,733 | 0,891 | 0,985 | 0,556 | 0,105 | —0,434 | —0,686 | —0,966 | —0,231 |
| 39 | —0,383 | —0,901 | —0,988 | —0,866 | —0,195 | 0,309 | 0,782 | 0,940 | 0,707 | —0,342 |
| 41 | 0,609 | 0,989 | 0,988 | 0,643 | —0,195 | —0,669 | —0,975 | —0,933 | —0,259 | 0.802 |
| 43 | —0,793 | —0,989 | —0,891 | —0,342 | 0,556 | 0,914 | 0,975 | 0,795 | —0,259 | —0,998 |
| 45 | 0,924 | 0,901 | 0,707 | 0,0 | —0,831 | —1,0 | —0,782 | —0,500 | 0,707 | 0,866 |
| 47 | —0,991 | —0,733 | —0,454 | 0,342 | 0,981 | 0,914 | 0,434 | 0,058 | —0,966 | —0,449 |
| 49 | 0,991 | 0,500 | 0,156 | —0,643 | —0,981 | —0,669 | 0,0 | 0,396 | 0,966 | —0,116 |
| 51 | —0,924 | —0,223 | 0,156 | 0,866 | 0,831 | 0,309 | —0,434 | —0,766 | —0,707 | 0,643 |
| 53 | 0,793 | —0,0747 | —0,454 | —0,985 | —0,556 | 0,105 | 0,782 | 0,973 | 0,259 | —0,958 |
| 55 | —0,609 | 0,365 | 0,707 | 0,985 | 0,195 | —0,500 | —0,975 | 0,973 | 0,259 | 0,958 |
| 57 | 0,383 | —0,624 | —0,891 | —0,866 | 0,195 | 0,809 | 0,975 | 0,766 | —0,707 | —0,643 |
| 59 | 0,131 | 0,826 | 0,988 | 0,643 | —0,556 | —0,978 | —0,782 | —0,396 | 0,966 | 0,116 |
| 61 | —0,131 | —0,956 | —0,988 | —0,342 | 0,831 | 0,978 | 0,434 | —0,058 | —0,966 | 0,449 |
| 63 | 0,383 | 1,0 | 0,891 | 0,0 | —0,981 | —0,809 | 0,0 | 0,500 | 0,707 | —0,866 |
| 65 | —0,609 | —0,956 | —0,707 | 0,342 | 0,981 | 0,500 | —0,434 | —0,795 | —0,259 | 0,998 |

$k_{y\nu}$ — коэффициенты укорочения для гармоник

| q | $y_з/\tau$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | 7/9 | | | | | | |
| 4 | | | | | | | 9/12 | | | |
| 5 | | 12/15 | | | | | | | 11/15 | |
| 6 | | | | 11/18 | | | | | | 13/18 |
| 7 | 17/21 | | | | | 16/21 | | | | |
| 8 | | | 19/24 | | | | 18/21 | | | |
| 9 | | | | 21/27 | | | | 20/27 | | |
| 10 | | 21/30 | | | 23/30 | | | | 22/30 | |
| $y_з/\tau$ | 0,810 | 0,800 | 0,792 | 0,779 | 0,767 | 0,762 | 0,750 | 0,741 | 0,734 | 0,722 |
| **Порядок гармоники** | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,956 | 0,951 | 0,947 | 0,940 | 0,934 | 0,931 | 0,924 | 0,918 | 0,914 | 0,906 |
| 3 | -0,623 | -0,588 | -0,556 | -0,500 | -0,454 | -0,434 | -0,383 | -0,342 | -0,309 | -0,259 |
| 5 | 0,075 | 0,0 | -0,065 | -0,174 | -0,259 | -0,295 | -0,383 | -0,447 | -0,500 | -0,574 |
| 7 | 0,500 | 0,588 | 0,659 | 0,766 | 0,839 | 0,866 | 0,924 | 0,958 | 0,978 | 0,966 |
| 9 | -0,901 | -0,951 | -0,981 | -1,0 | -0,988 | -0,975 | -0,924 | -0,866 | -0,804 | -0,707 |
| 11 | 0,989 | 0,951 | 0,897 | 0,766 | 0,629 | 0,583 | 0,383 | 0,231 | 0,105 | -0,087 |
| 13 | -0,733 | -0,588 | -0,442 | -0,174 | 0,052 | 0,148 | 0,383 | 0,550 | 0,669 | 0,818 |
| 15 | 0,223 | 0,0 | -0,195 | -0,500 | -0,707 | -0,782 | -0,924 | -0,981 | -1,00 | -0,966 |
| 17 | 0,365 | 0,588 | 0,752 | 0,940 | 0,999 | 0,997 | 0,924 | 0,802 | 0,669 | 0,423 |
| 19 | -0,826 | -0,951 | -0,998 | -0,940 | -0,777 | -0,680 | -0,383 | -0,116 | 0,105 | 0,423 |
| 21 | 1,0 | 0,951 | 0,831 | 0,500 | 0,156 | 0,0 | -0,383 | -0,643 | -0,804 | -0,966 |
| 23 | -0,826 | -0,588 | -0,321 | 0,174 | 0,545 | 0,680 | 0,924 | 0,998 | 0,978 | 0,819 |
| 25 | 0,365 | 0,0 | -0,321 | -0,766 | -0,966 | -0,997 | -0,924 | -0,727 | -0,500 | -0,087 |
| 27 | 0,223 | 0,558 | 0,831 | 1,0 | 0,897 | 0,782 | 0,383 | 0,0 | -0,309 | -0,707 |
| 29 | -0,733 | -0,951 | -0,998 | -0,766 | -0,358 | -0,148 | 0,383 | 0,727 | 0,914 | 0,996 |
| 31 | 0,989 | 0,951 | 0,752 | 0,174 | -0,358 | -0,583 | -0,924 | -0,998 | -0,914 | -0,574 |
| 33 | -0,901 | -0,588 | -0,195 | 0,500 | 0,891 | 0,975 | 0,924 | 0,643 | 0,309 | -0,259 |
| 35 | 0,500 | 0,0 | -0,442 | -0,940 | -0,966 | -0,866 | -0,383 | 0,116 | 0,500 | 0,906 |
| 37 | 0,075 | 0,588 | 0,897 | 0,940 | 0,545 | 0,295 | -0,383 | -0,802 | -0,978 | -0,906 |
| 39 | -0,623 | -0,951 | -0,981 | -0,500 | 0,156 | 0,434 | 0,924 | 0,985 | 0,809 | 0,259 |
| 41 | 0,956 | 0,951 | 0,659 | -0,174 | -0,777 | -0,931 | -0,924 | -0,550 | -0,105 | 0,574 |
| 43 | -0,956 | -0,588 | -0,065 | 0,766 | 0,999 | 0,931 | 0,383 | -0,231 | -0,669 | -0,996 |
| 45 | 0,623 | 0,0 | -0,556 | -1,0 | -0,707 | -0,434 | 0,383 | 0,866 | 1,0 | 0,707 |
| 47 | -0,0747 | 0,588 | 0,947 | 0,766 | 0,052 | -0,295 | -0,924 | -0,958 | -0,669 | 0,087 |
| 49 | -0,509 | -0,951 | -0,947 | -0,174 | 0,629 | 0,866 | 0,924 | 0,597 | -0,105 | -0,819 |
| 51 | 0,901 | 0,951 | 0,556 | -0,500 | -0,988 | -0,975 | -0,383 | 0,342 | 0,809 | 0,966 |
| 53 | -0,989 | -0,588 | 0,065 | 0,940 | 0,839 | 0,583 | -0,383 | -0,918 | -0,978 | -0,423 |
| 55 | 0,733 | 0,0 | -0,659 | -0,940 | -0,259 | 0,148 | 0,924 | 0,918 | 0,500 | -0,423 |
| 57 | -0,223 | 0,588 | 0,981 | 0,500 | -0,454 | -0,782 | -0,924 | -0,342 | 0,309 | 0,966 |
| 59 | -0,365 | -0,951 | -0,897 | 0,174 | 0,934 | 0,997 | 0,383 | -0,597 | -0,914 | -0,819 |
| 61 | 0,826 | 0,951 | 0,442 | -0,766 | -0,934 | -0,680 | 0,383 | 0,958 | 0,914 | 0,087 |
| 63 | -1,0 | -0,588 | 0,195 | 1,0 | 0,454 | 0,0 | -0,924 | -0,866 | -0,309 | 0,707 |
| 65 | 0,826 | 0,0 | -0,752 | -0,766 | 0,259 | 0,680 | 0,924 | 0,231 | -0,500 | -0,996 |



$k_{y\nu}$ — коэффициенты укорочения для гармоник

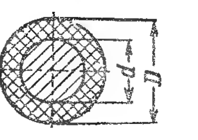
| q | $y_з/\tau$ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | 2/3 | | | | | | |
| 2 | | | | | 4/6 | | | | | | |
| 3 | | | | | 6/9 | | | | | | |
| 4 | | | | | 8/12 | | | | | | 7/12 |
| 5 | | | | | 10/15 | | | | 9/15 | | |
| 6 | | | | | 12/18 | | | | | | |
| 7 | 15/21 | | | | 11/21 | | | | | | |
| 8 | | 17/24 | | | 16/24 | | | 15/24 | | | 14/24 |
| 9 | | | 19/27 | | 18/27 | | 17/27 | | | 16/27 | |
| 10 | | | | 21/30 | 20/30 | 19/30 | | | 18/30 | | |
| $y_з/\tau$ | 0,712 | 0,709 | 0,705 | 0,700 | 0,667 | 0,634 | 0,630 | 0,625 | 0,600 | 0,592 | 0,584 |
| **Порядок гармоники** | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,901 | 0,897 | 0,894 | 0,891 | 0,866 | 0,839 | 0,835 | 0,831 | 0,809 | 0,800 | 0,793 |
| 3 | -0,222 | -0,195 | -0,174 | -0,156 | 0,0 | 0,156 | 0,174 | 0,195 | 0,309 | 0,342 | 0,383 |
| 5 | -0,623 | -0,660 | -0,690 | -0,707 | -0,866 | -0,966 | -0,974 | -0,982 | -1,0 | -0,998 | -0,993 |
| 7 | 1,0 | 0,998 | 0,993 | 0,988 | 0,866 | 0,629 | 0,588 | 0,559 | 0,309 | 0,225 | 0,139 |
| 9 | -0,623 | -0,556 | -0,500 | -0,454 | 0,0 | 0,358 | 0,407 | 0,462 | 0,500 | 0,755 | 0,875 |
| 11 | -0,222 | -0,321 | -0,396 | -0,454 | -0,866 | -0,999 | -0,994 | -0,981 | -0,809 | -0,721 | -0,618 |
| 13 | 0,901 | 0,947 | 0,973 | 0,988 | 0,866 | 0,371 | 0,294 | 0,195 | -0,309 | -0,459 | -0,598 |
| 15 | -0,907 | -0,831 | -0,766 | -0,707 | 0,0 | 0,696 | 0,760 | 0,831 | 1,0 | 0,982 | 0,930 |
| 17 | 0,222 | 0,065 | -0,058 | -0,156 | -0,866 | -0,940 | -0,898 | -0,831 | -0,309 | -0,100 | 0,113 |
| 19 | 0,623 | 0,752 | 0,835 | 0,891 | 0,866 | 0,072 | -0,047 | -0,194 | -0,809 | -0,952 | -0,989 |
| 21 | -1,0 | -0,981 | -0,940 | -0,891 | 0,0 | 0,881 | 0,935 | 0,981 | 0,809 | 0,628 | 0,402 |
| 23 | 0,623 | 0,442 | 0,287 | 0,156 | -0,866 | -0,792 | -0,696 | -0,555 | 0,309 | 0,566 | 0,778 |
| 25 | 0,222 | 0,442 | 0,597 | 0,707 | 0,866 | -0,061 | -0,383 | -0,555 | -1,0 | -0,951 | -0,809 |
| 27 | -0,901 | -0,981 | -1,0 | -0,988 | 0,0 | 0,983 | -1,0 | 0,981 | 0,309 | -0,025 | -0,356 |
| 29 | 0,901 | 0,752 | 0,597 | 0,454 | -0,866 | -0,569 | -0,412 | -0,194 | 0,809 | 0,965 | 0,995 |
| 31 | -0,222 | 0,065 | 0,287 | 0,454 | 0,866 | -0,517 | -0,673 | -0,831 | -0,809 | -0,525 | -0,162 |
| 33 | -0,623 | -0,831 | -0,940 | -0,988 | 0,0 | 0,992 | 0,946 | 0,831 | -0,309 | -0,666 | -0,910 |
| 35 | 1,0 | 0,947 | 0,835 | 0,707 | -0,866 | -0,294 | -0,079 | 0,194 | 1,0 | 0,905 | 0,637 |
| 37 | -0,623 | -0,321 | -0,058 | 0,156 | 0,866 | -0,855 | -0,884 | -0,981 | -0,309 | 0,150 | 0,577 |
| 39 | -0,222 | -0,556 | -0,766 | -0,891 | 0,0 | 0,909 | 0,780 | 0,555 | -0,809 | -0,990 | -0,939 |
| 41 | 0,901 | 0,998 | 0,973 | 0,891 | -0,866 | 0,010 | 0,264 | 0,555 | 0,809 | 0,414 | -0,088 |
| 43 | -0,901 | -0,660 | -0,396 | -0,156 | 0,866 | -0,916 | -0,990 | -0,981 | 0,309 | 0,754 | 0,984 |
| 45 | 0,222 | -0,145 | -0,500 | -0,707 | 0,0 | 0,739 | 0,523 | 0,194 | -1,0 | -0,844 | -0,262 |
| 47 | 0,623 | 0,897 | 0,993 | 0,988 | -0,866 | 0,312 | 0,575 | 0,831 | 0,309 | -0,273 | -0,762 |
| 49 | -1,0 | -0,897 | 0,690 | 0,454 | 0,866 | -0,994 | -0,979 | -0,831 | 0,809 | 1,0 | 0,823 |
| 51 | 0,623 | 0,195 | -0,174 | -0,454 | 0,0 | 0,501 | 0,203 | -0,194 | -0,809 | -0,297 | 0,333 |
| 53 | 0,222 | 0,660 | 0,894 | 0,988 | -0,866 | 0,585 | 0,818 | 0,981 | -0,309 | -0,721 | -0,997 |
| 55 | -0,901 | -0,998 | -0,894 | -0,707 | 0,866 | -0,979 | -0,853 | -0,555 | 1,0 | 0,771 | 0,187 |
| 57 | 0,901 | 0,556 | 0,174 | -0,156 | -0,0 | 0,215 | -0,141 | -0,555 | -0,309 | 0,407 | 0,899 |
| 59 | -0,222 | 0,321 | 0,690 | 0,891 | 0,866 | 0,803 | 0,965 | 0,981 | -0,809 | -0,994 | -0,777 |
| 61 | -0,623 | -0,947 | -0,993 | 0,891 | -0,866 | -0,872 | -0,625 | -0,194 | 0,809 | 0,175 | -0,557 |
| 63 | 1,0 | 0,831 | 0,500 | 0,156 | 0,0 | -0,091 | -0,468 | -0,831 | 0,309 | 0,894 | 0,947 |
| 65 | -0,623 | -0,065 | 0,396 | 0,707 | -0,866 | 0,946 | 0,997 | 0,831 | -1,0 | -0,685 | 0,063 |

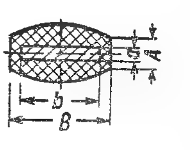
*ПРИЛОЖЕНИЕ 6*

# ДАННЫЕ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

Таблица П6-1

**Толщины изоляции обмоточных проводов, *мм***




| Марки провода | Круглые провода при диаметре голой проволоки, *мм* | | | | | | | | | | | Прямоугольные провода при меньшей стороне сечения голой проволоки, *мм* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,05—0,09 | 0,10—0,19 | 0,20—0,25 | 0,27—0,29 | 0,31—0,35 | 0,38—0,49 | 0,51—0,69 | 0,72—0,96 | 1,00—1,45 | 1,50—2,10 | 2,26—5,20 | 0,83—1,95 | 2,1—3,8 | 4,1—5,5 |
| ПЭЛШО; ПЭЛШКО | 0,07 | 0,075 | 0,09 | 0,10 | 0,105 | 0,11 | 0,115 | 0,125 | 0,135 | 0,155 | — | — | — | — |
| ПЭЛШД; ПЭЛШКД | — | — | — | — | — | — | — | 0,19 | — | — | — | — | — | — |
| ПЭЛБО . . | — | — | 0,125 | 0,155 | 0,16 | 0,165 | 0,17 | 0,18 | 0,21 | 0,21 | — | — | — | — |
| ПЭЛБД . . | — | — | — | — | — | — | — | 0,28 | 0,33 | 0,33 | — | — | — | — |
| ПЭЛБТ . . | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,21 | 0,21 | — | — | — | — |
| ПШД; ПШКД . . | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,15 | — | — |
| ПБО . . . . | — | — | 0,10 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,14 | — | 0,14 | 0,175 | 0,23 |



*Продолжение табл. П6-1*

| Марки провода | Круглые провода при диаметре голой проволоки, *мм* | | | | | | | | | | | Прямоугольные провода при меньшей стороне сечения голой проволоки, *мм* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,05—0,09 | 0,10—0,19 | 0,20—0,25 | 0,27—0,29 | 0,31—0,35 | 0,38—0,49 | 0,51—0,69 | 0,72—0,96 | 1,00—1,45 | 1,50—2,10 | 2,26—5,20 | 0,83—1,95 | 2,1—3,8 | 4,1—5,5 |
| ПБД . . . . | — | — | 0,19 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,27 | 0,27 | 0,33 | 0,27 | 0,33 | 0,44 |
| ПБОО . . . . | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| ПЭЛ; ПЭТ . | 0,015 | 0,02 | 0,025 | 0,04 | 0,04 | 0,04—0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07—0,08 | 0,08—0,1 | 0,1 | — | — | — |
| ПЭВ-1 . . . . | 0,025 | 0,045—0,03 | 0,03—0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04—0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07—0,08 | — | — | — | — | — |
| ПЭВ-2 . . . . | 0,03 | 0,03—0,04 | 0,045 | 0,06 | 0,06 | 0,06—0,07 | 0,07—0,08 | 0,09 | 0,1—0,11 | 0,11—0,13 | — | — | — | — |
| ПЭТСО . . . | — | — | — | — | — | 0,20 | 0,20 | 0,22 | 0,22 | 0,24 | — | — | — | — |
| ПЭТКСО . . | — | — | — | — | — | 0,16 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,20 | — | — | — | — |
| ПСД; ПСДК | — | — | — | — | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,27 | 0,27 | 0,33 | 0,27 | 0,33 | 0,40 |
| ПДА . . . . | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |

Примечания: 1. Приводится двусторонняя ($D—d$) или ($A—a$) максимальная толщина изоляции, включая положительный допуск.

2. Прочеркнутые места показывают, что провода соответствующих размеров и марок не изготовляются.

Таблица П6-2

**Номинальные диаметры $d$, сечения $s$, веса $G$ и сопротивления 1 *км* меди обмоточной круглой**

| Диаметр $d$, *мм* | Сечение $s$, *мм*² | Вес 1 *км* $G$, *кг* | Сопротивление 1 *км* при 15° С, *ом* | Диаметр $d$, *мм* | Сечение $s$, *мм*² | Вес 1 *км* $G$, *кг* | Сопротивление 1 *км* при 15° С, *ом* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,05 | 0,00196 | 0,01746 | 9 100 | (0,77) | 0,466 | 4,14 | 36,9 |
| 0,06 | 0,00283 | 0,0252 | 6 310 | 0,80 | 0,503 | 4,47 | 34,2 |
| 0,07 | 0,00385 | 0,0342 | 4 630 | (0,83) | 0,541 | 4,81 | 31,8 |
| 0,08 | 0,00503 | 0,0447 | 3 550 | 0,86 | 0,581 | 5,16 | 29,6 |
| 0,09 | 0,00636 | 0,0566 | 2 810 | (0,90) | 0,636 | 5,66 | 27,0 |
| 0,10 | 0,00785 | 0,0698 | 2 270 | 0,93 | 0,679 | 6,04 | 25,3 |
| 0,11 | 0,00950 | 0,0845 | 1 813 | (0,96) | 0,724 | 6,43 | 23,8 |
| 0,12 | 0,01131 | 0,1005 | 1 524 | 1,00 | 0,785 | 6,98 | 21,9 |
| 0,13 | 0,01327 | 0,1180 | 1 296 | (1,04) | 0,849 | 7,55 | 20,3 |
| 0,14 | 0,01539 | 0,1368 | 1 118 | 1,08 | 0,916 | 8,14 | 18,79 |
| 0,15 | 0,01767 | 0,1571 | 974 | (1,12) | 0,985 | 8,75 | 17,47 |
| 0,16 | 0,0201 | 0,1788 | 856 | 1,16 | 1,057 | 9,40 | 16,28 |
| 0,17 | 0,0227 | 0,202 | 785 | (1,20) | 1,131 | 10,05 | 15,22 |
| 0,18 | 0,0255 | 0,226 | 674 | 1,25 | 1,227 | 10,91 | 14,02 |
| 0,19 | 0,0284 | 0,252 | 606 | (1,30) | 1,327 | 11,80 | 12,96 |
| 0,20 | 0,0314 | 0,279 | 548 | 1,35 | 1,431 | 12,73 | 12,01 |
| 0,21 | 0,0346 | 0,308 | 497 | (1,40) | 1,539 | 13,69 | 11,18 |
| 0,23 | 0,0415 | 0,396 | 415 | 1,45 | 1,651 | 14,68 | 10,41 |
| 0,25 | 0,0491 | 0,436 | 351 | (1,50) | 1,767 | 15,71 | 9,74 |
| 0,27 | 0,0573 | 0,509 | 300 | 1,56 | 1,911 | 16,99 | 9,00 |
| 0,29 | 0,0661 | 0,587 | 260 | (1,62) | 2,06 | 18,32 | 8,36 |



*Продолжение*

| Диаметр $d$, *мм* | Сечение $s$, *мм*² | Вес 1 *км* $G$, *кг* | Сопротивление 1 *км* при 15° С, *ом* | Диаметр $d$, *мм* | Сечение $s$, *мм*² | Вес 1 *км* $G$, *кг* | Сопротивление 1 *км* при 15° С, *ом* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,31 | 0,0755 | 0,671 | 228 | 1,68 | 2,22 | 19,71 | 7,75 |
| 0,33 | 0,0855 | 0,760 | 201 | (1,74) | 2,38 | 21,1 | 7,23 |
| 0,35 | 0,0962 | 0,855 | 178,8 | 1,81 | 2,57 | 22,9 | 6,70 |
| 0,38 | 0,1134 | 1,008 | 151,8 | (1,88) | 2,78 | 24,7 | 6,19 |
| 0,41 | 0,1320 | 1,173 | 130,3 | 1,95 | 2,99 | 26,5 | 5,76 |
| 0,44 | 0,1521 | 1,352 | 113,2 | (2,02) | 3,20 | 28,5 | 5,38 |
| 0,47 | 0,1735 | 1,542 | 99,2 | 2,10 | 3,46 | 30,8 | 4,97 |
| (0,49) | 0,1886 | 1,676 | 91,3 | 2,26 | 4,01 | 35,7 | 7,29 |
| 0,51 | 0,204 | 1,816 | 84,4 | 2,44 | 4,68 | 41,6 | 3,68 |
| (0,53) | 0,221 | 1,961 | 77,8 | 2,63 | 5,43 | 48,3 | 3,17 |
| 0,55 | 0,238 | 2,11 | 72,3 | 2,83 | 6,29 | 55,9 | 2,73 |
| (0,57) | 0,255 | 2,27 | 67,5 | 3,05 | 7,31 | 65,0 | 2,35 |
| 0,59 | 0,273 | 2,43 | 63,0 | 3,28 | 8,45 | 75,1 | 2,04 |
| (0,62) | 0,302 | 2,68 | 57,0 | 3,53 | 9,79 | 87,0 | 1,758 |
| 0,64 | 0,322 | 2,86 | 53,4 | 3,80 | 11,34 | 100,8 | 1,518 |
| (0,67) | 0,353 | 3,13 | 48,7 | 4,10 | 13,20 | 117,4 | 1,303 |
| 0,69 | 0,374 | 3,32 | 46,0 | 4,50 | 15,90 | 141,4 | 1,082 |
| (0,72) | 0,407 | 3,62 | 42,3 | 4,80 | 18,10 | 160,9 | 0,951 |
| 0,74 | 0,430 | 3,82 | 40,0 | 5,20 | 21,2 | 188,8 | 0,812 |

Примечания: 1. До диаметра 0,10 *мм* включительно проводники изготовляются из твердотянутой меди с повышенным удельным сопротивлением.

2. Диаметры проводников в скобках являются малоупотребительными; в частности, для марок ПЭЛ и ПЭТ применять их не рекомендуется.

3. Проводник марки ПШО диаметром 0,38; 0,47; 0,51 и 0,69 не выпускается.

Таблица П6-3

## Номинальные размеры (*мм*) и расчетные сечения (*мм*²) меди обмоточной прямоугольной

| b \ a | 0,9 | 1,0 | 1,08 | 1,16 | 1,25 | 1,35 | 1,45 | 1,56 | 1,68 | 1,81 | 1,95 | 2,10 | 2,26 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,10 | 1,82 | 1,89 | 2,06 | 2,23 | 2,42 | 2,63 | 2,84 | 3,07 | 3,32 | 3,59 | — | 3,92 | — |
| 2,26 | 1,96 | 2,05 | 2,23 | 2,41 | 2,62 | 2,84 | 3,07 | 3,32 | 3,59 | 3,83 | — | — | 4,63 |
| 2,44 | 2,13 | 2.23 | 2,43 | 2,62 | 2.84 | 3,08 | 3,33 | 3,60 | 3,89 | 4,21 | 4,55 | 4,64 | — |
| 2,63 | 2,30 | 2,42 | 2,63 | 2,84 | 3,08 | 3,34 | 3,60 | 3,80 | 4,21 | 4,55 | 4,92 | 5.04 | — |
| 2,83 | 2,48 | 2,62 | 2,85 | 3,07 | 3,33 | 3,61 | 3,89 | 4,20 | 4,54 | 4,91 | 5.31 | 5,46 | 5,92 |
| 3,05 | — | 2,84 | 3,08 | 3,33 | 3,60 | 3,91 | 4,21 | 4,55 | 4,91 | 5,31 | 5,74 | 5,93 | 6,41 |
| 3,28 | — | 3,07 | 3,33 | 3,60 | 3,89 | 4,22 | 4,55 | 4,91 | 5,30 | 5,73 | 6,19 | 6.41 | 6,93 |
| 3,53 | — | 3,32 | 3,60 | 3,89 | 4,20 | 4,56 | 4.91 | 5,30 | 5,72 | 6,18 | 6,67 | 6,93 | 7,50 |
| 3,8 | 3,25 | 3,59 | 3,89 | 4,20 | 4,54 | 4,92 | 5,30 | 5,72 | 6,17 | 6,67 | 7,20 | 7,50 | 8,11 |
| 4,1 | — | 3,89 | 4,22 | 4,55 | 4,92 | 5,33 | 5,74 | 6,19 | 6,68 | 7,21 | 7.79 | 8,13 | 8,79 |
| 4,4 | — | 4.19 | 4,54 | 4,89 | 5,29 | 5,73 | 6,17 | 6,65 | 7,18 | 7,75 | 8,37 | 8,76 | 9,46 |
| 4,7 | — | 4,49 | 4,87 | 5,24 | 5,67 | 6,14 | 6,61 | 7,12 | 7,79 | 8,30 | 8,96 | 9,39 | 10,10 |
| 5,1 | — | 4,89 | 5,30 | 5,71 | 6,17 | 6.88 | 7,19 | 7,75 | 8,36 | 9.02 | 9,74 | 10,20 | 11,00 |
| 5.5 | — | 5,29 | 5,73 | 6,17 | 6,67 | 7,22 | 7,77 | 8,37 | 9,03 | 9,75 | 10,50 | 11,10 | 11,90 |
| 5,9 | — | 5,69 | 6,16 | 6,63 | 7,17 | 7,76 | 8,35 | 8,99 | 9,70 | 10,50 | 11,30 | 11,90 | 12,80 |
| 6,4 | — | 6,19 | 6,70 | 7,21 | 7,79 | 8,43 | 9,07 | 9,77 | 10,60 | 11,40 | 12,30 | 12,90 | 14,00 |
| 6.9 | — | 6,69 | 7,24 | 7,79 | 8,42 | 9,11 | 9,79 | 10,60 | 11,40 | 12,30 | 13.30 | 14,00 | 15,[illegible]0 |
| 7,4 | — | 7,19 | 7,78 | 8,37 | 9,04 | 9,78 | 10,50 | 11,30 | 12,60 | 13,30 | 14,20 | 15,00 | 16,20 |
| 8,0 | — | 7,79 | 8.43 | 9,07 | 9,79 | 10,60 | 11,40 | 12,30 | 13,20 | 14,40 | 15,40 | 16,30 | 17,60 |
| 8,6 | — | 8,39 | 9,08 | 9,77 | 10,60 | 11,40 | 12,30 | 13,20 | 14,20 | 15,50 | 16,60 | 17,60 | 18,90 |
| 9,3 | — | — | — | — | — | 12,40 | 13,30 | 14,30 | 15,40 | 16,60 | 17,90 | 19,00 | 20.5 |
| 10.0 | — | — | — | 11.4 | — | — | — | 15,40 | 16,60 | 17,90 | 19,30 | 20,5 | 22,1 |
| 10,8 | — | — | — | — | — | — | — | — | 18,2 | 19,30 | 20,90 | 22,2 | 23,9 |
| 11,6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 23,9 | 25,7 |
| 12,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 25,8 | 27,8 |
| 13,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 14,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

| b \ a | 2,44 | 2,63 | 2,83 | 3,05 | 3,28 | 3,53 | 3,80 | 4.10 | 4,40 | 4.70 | 5,10 | 5,50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,10 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,26 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,44 | 5,37 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,63 | 5.94 | 6.44 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,83 | 6,43 | — | 7,53 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3,05 | 6,96 | 7,54 | 8,15 | 8,72 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3,28 | 7.52 | 8,15 | 8,80 | — | 10,30 | — | — | — | — | — | — | — |
| 3,53 | 8,13 | 8,80 | 9,51 | 10,30 | 11,10 | 12,00 | — | — | — | — | — | — |
| 3,8 | 8,79 | 9,51 | 10,30 | 11,10 | 12,00 | — | 13,90 | — | — | — | — | — |
| 4,1 | 9,52 | 10,30 | 11,10 | 12,00 | 13,00 | 14,00 | 15,10 | 15,90 | — | — | — | — |
| 4,4 | 10,20 | 11,10 | 12,00 | 12,90 | 13,90 | 15,00 | 16,20 | 17,10 | 18,50 | — | — | — |
| 4,7 | 11,00 | 11,90 | 12,80 | 13,80 | 14,90 | 16,10 | 14,70 | 18,40 | — | 21,1 | — | — |
| 5,1 | 11,90 | 12,90 | 13,90 | 15,10 | 16,20 | 17,50 | 18,90 | 20,0 | 21,5 | — | 25,1 | — |
| 5,5 | 12,90 | 14,60 | 15,10 | 16,30 | 17,50 | 18,90 | 20,4 | 21,7 | 23,3 | 25,0 | — | — |
| 5,9 | 13,90 | 15,00 | 16,20 | 17,50 | 18,90 | 20,3 | 21,9 | 23,3 | 25,1 | 26,8 | 29,2 | — |
| 6,4 | 15,10 | 16,30 | 17,60 | 19,00 | 20,5 | 22,1 | 23,8 | 25,3 | 27,3 | 29,2 | 31,7 | 34,3 |
| 6,9 | 16,30 | 17,70 | 19,00 | 20,6 | 22,1 | 23,9 | 25,7 | 27,4 | 29,5 | 31,5 | 34,3 | 37,1 |
| 7,4 | 17,60 | 19,00 | 20,4 | 22,1 | 23,6 | 25,6 | 27,6 | 29,4 | 31,7 | 33,9 | 36 | 39,8 |
| 8.0 | 19,00 | 20,5 | 22,1 | 23,9 | 25,7 | 27,7 | 29,9 | 31,9 | 34.3 | 36,7 | 39,9 | 43,1 |
| 8,6 | 20,5 | 22,1 | 23,8 | 25,7 | 27,7 | 29,9 | 32,2 | 34,4 | 36,9 | 39,5 | 43,0 | 46,4 |
| 9,3 | 22,2 | 24,0 | 25,8 | 27,9 | 30,0 | 32,3 | 34,8 | 37,2 | 40,0 | 42,8 | 46,5 | 50,5 |
| 10,0 | 23,9 | 25,8 | 27,8 | 30,0 | 32,3 | 34,8 | 37,5 | 40,1 | 43,1 | 46,1 | 50,1 | 54,1 |
| 10,8 | 25,9 | 27,9 | 30,1 | 32,4 | 34,9 | 37,6 | 40,5 | 43,4 | 46,6 | 49,9 | 54,2 | 58,5 |
| 11,6 | 27,8 | 30,0 | 32,3 | 34,9 | 37,5 | 40,5 | 43,6 | 46,7 | 50,1 | 53,6 | 58,3 | 62,9 |
| 12,5 | 30,0 | 32,4 | 34,9 | 37,6 | 40,5 | 43,6 | 47,0 | 50,4 | 54,1 | 57,9 | 62,9 | 67,9 |
| 13,5 | 32,4 | 35,0 | 37,7 | 40,7 | 43,8 | 47,2 | 50,8 | 54,5 | 58,5 | 62,6 | 68.0 | 73,4 |
| 14,5 | 34,9 | 37,6 | 40,5 | 43,7 | 47,1 | 50,6 | 54,6 | 58,6 | 62,9 | 67,3 | 74,1 | 78,9 |

Примечания. 1. *a*—меньшая сторона сечения; *b*—бо́льшая сторона сечения.
2. Расчетные сечения даны с учетом закругления углов поперечных сечений.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Рихтер Р., Обмотки якорей машин постоянного и переменного токов, ОНТИ, 1933.

2. Лившиц М., Электрические машины: т. 1, Общие основы, ОНТИ, 1933; т. 2 (совместно с Глекнером Г.), Конструкция и изоляция, ОНТИ, 1935; т. 3, Расчет и определение размеров, ОНТИ, 1936.

3. Костенко М. П. и Пиотровский Л. М., Электрические машины, ч. 2, Госэнергоиздат, 1958.

4. Зимин В. И. и др., Обмотки электрических машин, Госэнергоиздат, 1954.

5. Жерве Г. К., Расчет асинхронного двигателя при перемотке, Госэнергоиздат, 1956.

6. Касьянов В. Т., Составление схем петлевых и волновых обмоток трехфазного тока, сборник завода «Электросила», 1949, № 6.

7. Касьянов В. Т., Составление некоторых специальных схем трехфазных волновых обмоток, сборник завода «Электросила», 1951, № 8.

8. Виноградов Н. В., Горяинов Ф. А., Сергеев П. С. (под редакцией Сергеева П. С.), Проектирование электрических машин, Госэнергоиздат, 1956.


---

## ОБОЗНАЧЕНИЯ

*Русские буквы*

*Л* — линейный зажим
*н. ш.* — нормальный передний шаг
*об/мин* — число оборотов в минуту
ППФ — число пазов на полюс и фазу
*п. с.* — поворотное соединение
*С* — начало или конец фазы
*С* — линейный зажим
*удл. ш.* — удлиненный передний шаг
*ук. ш* — укороченный передний шаг

*Латинские и греческие буквы*

$A$ — фаза $A$*
$a$ — наименьшее целое число, при котором шаг $y$ равен целому числу
$B$ — фаза $B$*
$b$ — целая часть смешанного числа ППФ
$C$ — фаза $C$*
$c$ — уравнительное соединение
$c$ — числитель дробной части ППФ
$D$ — диаметр внутренней окружности статора (диаметр расточки)
$D'$ — диаметр окружности, на которой лежат выводы обмотки
$D$ — разность между 2 пазами, соответствующими 2 соседним векторам звезды пазов
$d$ — знаменатель дроби ППФ
$d$ — число полюсов повторяющейся части обмотки
$k$ — число углов $\alpha_m$, на которое смещен один слой обмотки относительно другого или на которое смещены две повторяющиеся группы одна относительно другой
$k_p$ — коэффициент распределения основной гармоники
$k_{p\nu}$ — коэффициент распределения $\nu$-й гармоники
$k_{p\nu'}$ — коэффициент распределения $\nu'$-й гармоники
$k_y$ — коэффициент укорочения основной гармоники
$k_{y\nu}$ — коэффициент укорочения $\nu$-й гармоники
$k_{y\nu'}$ — коэффициент укорочения $\nu'$-й гармоники

---

* Нечетные индексы указывают начала частей обмотки, четные индексы — концы их. Например, $A_1$ — начало первой части обмотки, $A_2$ — конец ее; $A_3$ — начало второй части обмотки, $A_4$ — конец ее и т. д.

$k_2$ — любое положительное или отрицательное четное целое число включая нуль
$m$ — число фаз
$N$ — числитель дроби ППФ
$N'$ — число единичных пазов
$P$ — число полных полюсных делений между 2 пазами, которые соответствуют 2 соседним векторам звезды пазов
$P$ — наименьшее целое число, включая нуль, при котором $D$ равно целому числу
$p$ — число пар полюсов
$q$ — число пазов на полюс и фазу
$t$ — наибольший общий делитель числа полюсов и числа пазов
$w_c$ — число витков катушки однофазной обмотки
$y$ — шаг обмотки
$y_з$ — задний шаг
$y_п$ — передний шаг
$Z$ — полное число пазов
$Z_p$ — число пазов на полюс однофазной обмотки
$\alpha_m$ — угол в магнитном поле или угол между 2 соседними векторами звезды пазов
$\alpha_z$ — угол между 2 пазами
$\mu$ — порядок гармоники, созданной трехфазной 6-зонной роторной обмоткой с целым числом пазов на полюс и фазу
$\mu'$ — порядок гармоники, созданной трехфазной 6-зонной роторной обмоткой с дробным числом пазов на полюс и фазу
$\nu$ — порядок гармоники обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу
$\nu'$ — порядок гармоники симметричной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу
$\tau$ — полюсное деление

# УКАЗАТЕЛЬ К СХЕМАМ

## Указатель к схемам соединений („от верхнего к верхнему“) двухфазных петлевых обмоток

## Указатель к схемам соединений („от верхнего к нижнему“) трехфазных петлевых обмоток



## Указатель к схемам соединений („от верхнего к верхнему“) трехфазных петлевых обмоток

*Продолжение*

| Число полюсов | Тип соединений | № рис. | Страница |
|---|---|---|---|
| 12 | 4 параллельные звезды | 3-94 | 159 |
| | 6 параллельных звезд | 3-95 | 160 |
| | 12 параллельных звезд | 3-96 | 160 |
| | Последовательное или 2 параллельные звезды | 3-97 | 161 |
| | 2 или 4 параллельные звезды | 3-98 | 161 |
| | 3 или 6 параллельных звезд | 3-99 | 162 |
| | 6 или 12 параллельных звезд | 3-100 | 162 |
| | Последовательное, треугольник | 3-101 | 163 |
| | 2 параллельных треугольника | 3-102 | 163 |
| | 3 параллельных треугольника | 3-103 | 164 |
| | 4 параллельных треугольника | 3-104 | 164 |
| | 6 параллельных треугольников | 3-105 | 165 |
| | 12 параллельных треугольников | 3-106 | 165 |
| | Последовательное или 2 параллельных треугольника | 3-107 | 166 |
| | 2 или 4 параллельных треугольника | 3-108 | 166 |
| | 3 или 6 параллельных треугольников | 3-109 | 167 |
| | 6 или 12 параллельных треугольников | 3-110 | 167 |
| 14 | Последовательное, звезда | 3-111 | 171 |
| | 2 параллельные звезды | 3-112 | 171 |
| | 7 параллельных звезд | 3-113 | 172 |
| | 14 параллельных звезд | 3-114 | 172 |
| | Последовательное или 2 параллельные звезды | 3-115 | 173 |
| | 7 или 14 параллельных звезд | 3-116 | 173 |
| | Последовательное, треугольник | 3-117 | 174 |
| | 2 параллельных треугольника | 3-118 | 174 |
| | 7 параллельных треугольников | 3-119 | 175 |
| | 14 параллельных треугольников | 3-120 | 175 |
| | Последовательное или 2 параллельных треугольника | 3-121 | 176 |
| | 7 или 14 параллельных треугольников | 3 122 | 177 |



## Указатель к схемам соединений трехфазных петлевых обмоток для отношения скоростей вращения 2:1

| Отношение чисел полюсов | Тип | Высшая скорость; соединение | Низшая скорость; соединение | № рис. | Стр. |
|---|---|---|---|---|---|
| 4/8 | Постоянная мощность | 2 параллельные звезды | Последовательное, треугольник | 9-4 | 590 |
| | Постоянный момент | Последозательное, треугольник | 2 параллельные звезды | 9-5 | 593 |
| | Переменный момент | Последовательное, звезда | 2 параллельные звезды | 9-6 | 593 |
| | Постоянный момент | 2 параллельных треугольника | 4 параллельные звезды | 9-19 | 600 |
| 6/12 | Постоянная мощность | 2 параллельные звезды | Последовательное, треугольник | 9-7 | 594 |
| | Постоянный момент | Последовательное, треугольник | 2 параллельные звезды | 9-8 | 594 |
| | Переменный момент | Последовательное, звезда | 2 параллельные звезды | 9-9 | 595 |
| 8/16 | Постоянная мощность | 2 параллельные звезды | Последовательное, треугольник | 9-10 | 595 |
| | Постоянный момент | Последовательное, треугольник | 2 параллельные звезды | 9-11 | 596 |
| | Переменный момент | Последовательное, звезда | 2 параллельные звезды | 9-12 | 596 |
| 10/20 | Постоянная мощность | 2 параллельные звезды | Последовательное, треугольник | 9-13 | 597 |
| | Постоянный момент | Последовательное, треугольник | 2 параллельные звезды | 9-14 | 597 |
| | Переменный момент | Последовательное, звезда | 2 параллельные звезды | 9-15 | 598 |
| 12/24 | Постоянная мощность | 2 параллельные звезды | Последовательное, треугольник | 9-16 | 598 |
| | Постоянный момент | Последовательное, треугольник | 2 параллельные звезды | 9-17 | 599 |
| | Переменный момент | Последовательное, звезда | 2 параллельные звезды | 9-18 | 599 |

## Указатель к рабочим схемам трехфазных волновых обмоток

| Число полюсов | Число пазов | Тип соединений | № рис. | Стр. |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 36 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-17 | 333 |
| | 36 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-65 | 357 |
| | 42 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-1 | 553 |
| | 45 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С укороченными переходами | 6-18 | 333 |
| | 45 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-66 | 357 |
| | 48 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-8 | 561 |
| | 54 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-19 | 334 |
| | 54 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-67 | 358 |
| | 63 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С укороченными переходами | 6-20 | 334 |
| | 63 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-68 | 358 |
| | 72 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-21 | 335 |
| | 72 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-69 | 359 |
| | 81 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С укороченными переходами | 6-22 | 335 |
| | 81 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-70 | 359 |
| | 90 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-23 | 336 |
| | 90 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-71 | 360 |
| | 96 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-6 | 559 |
| | 105 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-17 | 571 |
| | 108 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$) С укороченными переходами | 6-24 | 336 |
| | 108 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и удлиненными переходами в другой части | 6-72 | 360 |
| 8 | 48 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-25 | 337 |
| | 48 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-73 | 361 |



*Продолжение*

| Число полюсов | Число пазов | Тип соединений | № рис. | Стр. |
|---|---|---|---|---|
| 8 | 54 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 7-17 | 473 |
| | 57 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-33 | 507 |
| | 60 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С укороченными переходами | 6-26 | 337 |
| | 60 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-74 | 361 |
| | 63 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-38 | 514 |
| | 72 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-27 | 338 |
| | 72 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной и укороченными переходами в другой части | 6-75 | 362 |
| | 84 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С укороченными переходами | 6-28 | 338 |
| | 84 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-76 | 362 |
| | 90 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-22 | 484 |
| | 96 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-29 | 339 |
| | 96 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-77 | 363 |
| | 105 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-36 | 511 |
| | 108 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С укороченными переходами | 6-30 | 339 |
| | 108 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-78 | 363 |
| | 120 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-31 | 340 |
| | 120 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-79 | 364 |
| | 126 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-20 | 479 |
| | 135 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-41 | 520 |
| | 150 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-21 | 481 |
| 10 | 60 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-32 | 340 |
| | 60 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-80 | 364 |
| | 72 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-25 | 490 |
| | 75 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С укороченными переходами | 6-33 | 341 |
| | 75 | ППФ — (целое число $+{}^1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-81 | 365 |

| Число полюсов | Число пазов | Тип соединений | № рис. | Стр. |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 84 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-1 | 454 |
| | 90 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-34 | 341 |
| | 90 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-82 | 365 |
| | 96 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-4 | 457 |
| | 105 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С укороченными переходами | 6-35 | 342 |
| | 105 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-83 | 366 |
| | 120 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-36 | 342 |
| | 120 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-84 | 366 |
| | 135 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С укороченными переходами | 6-37 | 343 |
| | 135 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-85 | 367 |
| | 144 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-3 | 456 |
| | 168 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-28 | 497 |
| | 192 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-27 | 495 |
| 12 | 66 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-11 | 564 |
| | 72 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-38 | 343 |
| | 72 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-86 | 367 |
| | 78 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-13 | 566 |
| | 81 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-18 | 475 |
| | 84 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-2 | 554 |
| | 90 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С укороченными переходами | 6-39 | 344 |
| | 90 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-87 | 368 |
| | 96 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-9 | 562 |
| | 102 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-15 | 569 |
| | 108 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-40 | 344 |
| | 108 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-88 | 368 |
| | 120 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-4 | 557 |
| | 126 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С укороченными переходами | 6-41 | 345 |





| Число полюсов | Число пазов | Тип соединений | № рис. | Стр. |
|---|---|---|---|---|
| 12 | 126 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-89 | 369 |
| | 135 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-23 | 486 |
| | 144 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-42 | 345 |
| | 144 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-90 | 369 |
| | 192 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-7 | 560 |
| | 210 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-18 | 572 |
| 14 | 84 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-43 | 346 |
| | 84 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-91 | 370 |
| | 90 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-6 | 460 |
| | 96 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-30 | 502 |
| | 105 | ППФ— (целое число $+1/_2$). С укороченными переходами | 6-44 | 346 |
| | 105 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-92 | 370 |
| | 120 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-9 | 465 |
| | 126 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-45 | 347 |
| | 126 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой | 6-93 | 371 |
| | 147 | ППФ — (целое число $+1/_2$). С укороченными переходами | 6-46 | 347 |
| | 147 | ППФ —(целое число $+1/_2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-94 | 371 |
| | 168 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами | 6-47 | 348 |
| | 168 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-95 | 372 |
| | 180 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-32 | 506 |
| | 240 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-8 | 464 |

| Число полюсов | Число пазов | Тип соединений | № рис. | Стр. |
|---|---|---|---|---|
| 16 | 96 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-48 | 348 |
| | 96 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-96 | 372 |
| | 108 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-19 | 477 |
| | 114 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-34 | 508 |
| | 120 | ППФ — (целое число $+1/2$). С укороченными переходами | 6-49 | 349 |
| | 120 | ППФ — (целое число $+1/2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-97 | 373 |
| | 126 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-39 | 516 |
| | 144 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-50 | 349 |
| | 144 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-98 | 373 |
| | 168 | ППФ — (целое число $+1/2$). С укороченными переходами | 6-51 | 350 |
| | 168 | ППФ — (целое число $+1/2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-99 | 374 |
| | 180 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-21 | 488 |
| | 210 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-37 | 512 |
| 18 | 96 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-19 | 574 |
| | 99 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-12 | 565 |
| | 108 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-52 | 350 |
| | 108 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-100 | 374 |
| | 114 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-20 | 576 |
| | 117 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-14 | 567 |
| | 126 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-3 | 556 |
| | 132 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-21 | 579 |
| | 135 | ППФ — (целое число $+1/2$). С укороченными переходами | 6-53 | 351 |
| | 135 | ППФ — (целое число $+1/2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-101 | 375 |





| Число полюсов | Число пазов | Тип соединений | № рис. | Стр. |
|---|---|---|---|---|
| 18 | 138 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-22 | 581 |
| | 144 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-10 | 563 |
| | 150 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-23 | 583 |
| | 153 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-16 | 570 |
| | 162 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-54 | 351 |
| | 162 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-102 | 375 |
| | 189 | ППФ — (целое число $+1/2$). С укороченными переходами | 6-55 | 352 |
| | 189 | ППФ — (целое число $+1/2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-103 | 376 |
| 20 | 120 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-56 | 352 |
| | 120 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-104 | 376 |
| | 144 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-26 | 493 |
| | 150 | ППФ — (целое число $+1/2$). С укороченными переходами | 6-57 | 353 |
| | 150 | ППФ — (целое число $+1/2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-105 | 377 |
| | 168 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-2 | 455 |
| | 180 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-58 | 353 |
| | 180 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-106 | 377 |
| | 192 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-5 | 459 |
| | 336 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-29 | 499 |
| 22 | 120 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-11 | 467 |
| | 132 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-59 | 354 |
| | 132 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-107 | 378 |
| | 144 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-12 | 468 |
| | 165 | ППФ — (целое число $+1/2$). С укороченными переходами | 6-60 | 354 |

*Продолжение*

| Число полюсов | Число пазов | Тип соединений | № рис. | Стр. |
|---|---|---|---|---|
| 22 | 165 | ППФ —(целое число $+1/2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-108 | 378 |
| | 198 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-61 | 355 |
| | 198 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-109 | 379 |
| | 240 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-13 | 469 |
| 24 | 144 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-62 | 355 |
| | 144 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-110 | 379 |
| | 171 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-35 | 509 |
| | 180 | ППФ —(целое число $+1/2$). С укороченными переходами | 6-63 | 356 |
| | 180 | ППФ —(целое число $+1/2$). С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-111 | 380 |
| | 189 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-40 | 518 |
| | 216 | ППФ — целое число. С укороченными переходами | 6-64 | 356 |
| | 216 | ППФ — целое число. С удлиненными переходами в одной части и укороченными переходами в другой части | 6-112 | 380 |
| | 240 | Несимметричная обмотка с дробным ППФ | 8-5 | 558 |
| 26 | 132 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-42 | 522 |
| | 144 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-14 | 470 |
| | 168 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-15 | 471 |
| | 336 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-16 | 472 |
| 28 | 180 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-7 | 462 |
| | 192 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-31 | 504 |
| | 240 | Симметричная обмотка с дробным ППФ | 7-10 | 466 |



## Указатель к схемам соединений однофазных обмоток

| Число полюсов | Тип соединений: Главная обмотка | Тип соединений: Вспомогательная обмотка | № рис. | Стр. |
|---|---|---|---|---|
| 2 | Последовательное | Последовательное | 11-11 | 657 |
| | 2 параллельные ветви | Последовательное | 11-12 | 657 |
| 4 | Последовательное | Последовательное | 11-13 | 658 |
| | 2 параллельные ветви | Последовательное | 11-14 | 658 |
| | 2 параллельные ветви | 2 параллельные ветви | 11-15 | 659 |
| 6 | Последовательное | Последовательное | 11-16 | 659 |
| | 2 параллельные ветви | Последовательное | 11-17 | 660 |
| | 2 параллельные ветви | 2 параллельные ветви | 11-18 | 660 |
| 8 | Последовательное | Последовательное | 11-19 | 661 |
| | 2 параллельные ветви | Последовательное | 11-20 | 661 |
| | 2 параллельные ветви | 2 параллельные ветви | 11-21 | 662 |
| 10 | Последовательное | Последовательное | 11-22 | 662 |
| | 2 параллельные ветви | Последовательное | 11-23 | 663 |
| | 2 параллельные ветви | 2 параллельные ветви | 11-24 | 663 |
| 4 и 6 | 2 скорости с 2 комплектами обмоток | | 11-33 | 644 |
| 4 | 2 скорости при обмотке с ответвлением L-образное соединение | | 11-37 | 647 |
| 6 | 2 скорости при обмотке с ответвлением L-образное соединение | | 11-39 | 648 |

## Указатель схем однофазных двигателей и схем включения их в сеть



## УКАЗАТЕЛЬ К ТАБЛИЦАМ

---

Редактор *И. И. Кодкинд* Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 6/X 1958 г. Подписано к печати 17/XII 1958 г.
Т-12419. Бумага $84\times108^1/_{32}$. 47,36 печ. л. Уч.-изд. л. 47,5
Тираж 26 000 экз. (2-й завод 3 001—26 000 экз.) Цена 24 р. 75 к. Заказ 1440

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.